

## DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR E DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO MEDIDA POR INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

G.M. Siqueira, J.S. Silva, J.M. Bezerra, E.F.F. Silva y A.A.A. Montenegro

Departamento de Tecnologia Rural, UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 – Recife (PE, Brasil). e-mail: [gleciosiqueira@hotmail.com](mailto:gleciosiqueira@hotmail.com), web: <http://www.ufrpe.br/>

**RESUMO.** O objetivo foi determinar a relação espacial entre a produtividade de cana-de-açúcar e a condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética. A área experimental está localizada no município de Goiana (Pernambuco, Brasil) (Latitude 07° 34' 25" S, Longitude 34° 55' 39" W). O experimento foi desenvolvido em uma área de 6,5 ha. O solo da área de estudo é um Espodosolo Humilúvico órtico. A produtividade da cana-de-açúcar e a condutividade elétrica aparente (CEa) foram medidos em 90 pontos de amostragem distribuídos aleatoriamente na área de estudo. Os mapas da condutividade elétrica do solo (CEa-V e CEa-H) apresentaram comportamento similar ao da produtividade de cana-de-açúcar. A correlação linear demonstrou valores de 0,74 (produtividade x CEa-H) e 0,85 (produtividade x CEa-V). A condutividade elétrica medida por indução eletromagnética demonstrouse como uma importante ferramenta para a predição da produtividade de cana-de-açúcar.

**ABSTRACT.** The objective was to determine the spatial relationship between the productivity of sugar cane and soil electrical conductivity measured by electromagnetic induction. The experimental area is located in Goiana (Pernambuco, Brazil) (Latitude 07° 34' 25" S, Longitude 34° 55' 39" W). The experiment was conducted in an area of 6.5 ha. The soil of the study area is Orthic Podsol. The productivity of sugar cane and soil electrical conductivity (ECa) were measured in 90 sampling points distributed randomly in the study area. The maps of soil electrical conductivity (ECa-V and ECa-H) showed behavior similar to the productivity of sugar cane. The linear correlation showed values of 0.74 (productivity x ECa-H) and 0.85 (ECa-V x productivity). The electrical conductivity measured by electromagnetic induction has been shown as an important tool for predicting the productivity of sugar cane.

### 1.- Introdução

O complexo agroindustrial da cana-de-açúcar, especialmente a cadeia produtiva do álcool coloca o Brasil em posição de país líder em progresso tecnológico na área energética a partir de biocombustíveis. Em um mercado global em que os conhecimentos fluem com grande velocidade, a manutenção da competitividade está condicionada a uma permanente busca por tecnologias

inovadoras, pois, como enfatiza Lall (2002) o principal instrumento para alcance de competitividade internacional é a tecnologia. Esta busca por competitividade dá-se tanto pelos governos e organizações de apoio como pelas empresas, estas motivadas por alcançar aumentos de produtividade ou redução de custos.

A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2012), prevê para a safra de 2012/2013 uma área estimada de plantio em 8.520,5 mil hectares, distribuída em todos estados produtores, representando um aumento de 2,0 % com relação a safra anterior. A produtividade média da safra 2012/2013 foi de 69,44 t ha<sup>-1</sup> e uma produção de 595,13 milhões de toneladas (Conab, 2012). O Estado de Pernambuco segundo Conab (2012) possui uma área cultivada com cana-de-açúcar de 327,61 mil hectares na safra 2012/2013, com uma produtividade de 45,5 t ha<sup>-1</sup>, e uma produção de 14.906,3 mil toneladas.

O crescimento da produção de cana-de-açúcar suscita à necessidade de se avaliar quais são os impactos econômicos, sociais e ambientais deste processo, tanto para o País como um todo, como para as regiões em que tem ocorrido. Nesse sentido, a agricultura atual necessita de metodologias que promovam a mudança na técnica de quantificação dos atributos do solo, a fim de auxiliar na caracterização da variabilidade destes atributos de maneira rápida e precisa. Assim, o estudo da variabilidade espacial da produtividade da cana-de-açúcar e dos atributos do solo, permite a prática da agricultura de precisão e a maximização dos recursos.

Diversos autores têm dedicado nos últimos anos ao estudo da variabilidade espacial dos atributos de solo e planta, e descreveram a sua importância para o manejo adequado do solo (Cambardella et al., 1994; Vieira, 2002; Siqueira et al., 2009).

Dentre as propriedades do solo, a condutividade elétrica aparente do solo (CEa) tem sido amplamente utilizada devido a sua correlação com outras propriedades do solo e por conseguinte, com a produtividade dos cultivos (Lesch et al., 2005; Siqueira et al., 2009). Segundo McNeill (1980), Lesch et al. (2005), Sudduth et al. (2005) e Kühn et al. (2008) a CEa está relacionada com o conteúdo de água no solo, textura, conteúdo de matéria orgânica, tamanho e distribuição dos poros, salinidade, capacidade de trocas catiônicas, concentração de eletrólitos na solução do solo, etc.

Desta maneira, o objetivo foi determinar a relação espacial entre a produtividade de cana-de-açúcar e a condutividade elétrica do solo medida por indução eletromagnética.

## 2.- Material e métodos

A área experimental esta localizada no município de Goiana (Zona da Mata Norte, Pernambuco, Brasil), cujas coordenadas são: Latitude 07° 34' 25" S e Longitude 34° 55' 39" W (Figura 1).

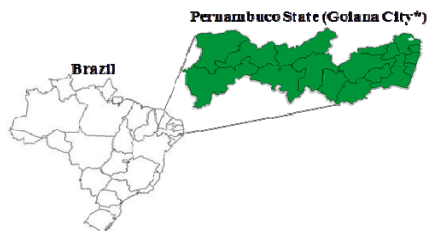


Fig. 1. Mapa de localização da área de estudo

Os solos da região da área de estudo derivam do grupo Barreiras, constituídos de sedimentos de origem continental do final do terciário, de textura arenosa até argilosa, caracterizados por uma alteração intensa (Brasil, 1969, 1972). O solo da área de estudo é um Espodosolo Humilúvico órtico textura arenosa de acordo com a classificação Embrapa (2006), cuja classificação física para área de estudo é apresentada na Tabela 1. A textura do solo (argila, silte e areia) foi determinada pelo método da pipeta conforme descrito por proposto por Camargo et al. (1986), utilizando como dispersante químico o hidróxido de Na e hexametafosfato de Na. A densidade do solo e a umidade volumétrica do solo foi determinada no perfil pedológico utilizando anéis volumétricos de 100 cm<sup>3</sup>, de acordo com metodologia proposta por Camargo et al. (1986).

Tabela 1. Atributos físicos para o Espodosolo Humilúvico órtico textura arenosa presente na área de estudo

| Profundidade (m) | Textura (g kg <sup>-1</sup> ) |       |       | Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> ) | Umidade do solo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) |
|------------------|-------------------------------|-------|-------|--|---|
|                  | Argila                        | Silte | Areia |  |   |
| 0,0-0,3          | 44                            | 26    | 930   | 1,52                                     | 34,50   |
| 0,3-0,60         | 43                            | 25    | 932   | 1,54                                     | 36,80   |
| 0,6-1            | 44                            | 26    | 930   | 1,60                                     | 42,60   |
| > 1 m            | 32                            | 40    | 928   | 1,66                                     | 47,20   |

O clima da região, segundo a Classificação Climática de Köppen, é tropical úmido do tipo As' ou pseudotropical, que se caracteriza por ser quente e úmido, com chuvas de outono a inverno, com temperaturas médias anuais variando em torno de 24°C.

A área de estudo possui aproximadamente 6,5 ha, altitude media de 8,5 m (Fig. 2) e vêm sendo manejada nos últimos anos com cana-de-açúcar com queima da palha para colheita. A amostragem da produtividade da cana-de-açúcar e da condutividade elétrica aparente do solo foi realizada no dia 09/11/2011 em 90 pontos de amostragem (Figura 3).

A produtividade da cana-de-açúcar foi determinada por meio do método proposto por Gheller et al. (1999), que estima o peso total da parcela através da multiplicação do número de colmos da área amostrada pelo peso médio de

dez colmos. Em cada ponto amostral, foram escolhidas três linhas de cana-de-açúcar de 10 metros de comprimento, nestas foram contados os números de colmos para o cálculo de seu peso médio. Posteriormente, foram colhidos dez colmos ao acaso dentre as três linhas de cada ponto para a pesagem.

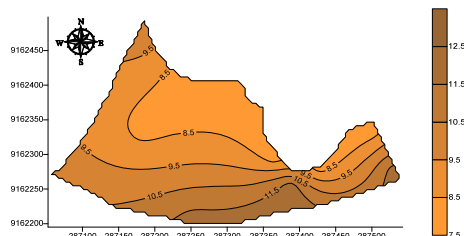


Fig. 2. Mapa topográfico para área de estudo

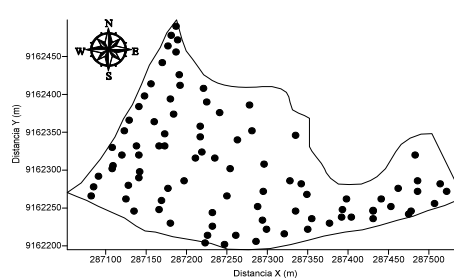


Fig. 3. Localização dos pontos de amostragem na área de estudo

Desta maneira, a produtividade pôde ser calculada da seguinte forma, como descrito por Gheller et al. (1999):

a) Peso médio por colmo:

$$pmc = \frac{pf}{tcolmos} \quad (1)$$

em que: *pf* é o peso do feixe com os 10 colmos; *tcolmos* é o total de colmos contados nas três linhas.

b) Peso estimado no ponto amostral:

$$pep = \frac{pmc}{tcolmos} \quad (2)$$

A partir do peso médio estimado em cada ponto amostral se pode calcular a produtividade por hectare (t ha<sup>-1</sup>).

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa, mS m<sup>-1</sup>) foi medida por indução eletromagnética com o equipamento EM38 (Geonics Ltda) em duas profundidades: dipolo vertical (profundidade efetiva de avaliação de 1,5 m – CEa-V) e dipolo horizontal (profundidade efetiva de avaliação de 0,4 m - CEa-H). Os valores de CEa medidos em campo (CEa-V e CEa-H) foram então correlacionados com a temperatura do solo conforme metodologia proposta por Huth & Poulton (2007). No entanto, por se tratar de uma área pequena, onde é possível realizar a amostragem da CEa em curto espaço de tempo, as correção dos valores de CEa pela temperatura do solo não ofereceu mudanças consistentes

aos valores originais assim que optamos por utilizar os valores originais de CEa.

A área de estudo apresenta grande importância no contexto regional uma vez que a cultura de cana-de-açúcar é o principal cultivo, estando localizado muitas vezes em zonas influenciadas por salinidade devido a sua proximidade com o mar, sobretudo nos períodos de maré alta, sendo a salinidade mais acentuada nas partes mais baixas. A área esta localizada à aproximadamente 10 km do Oceano Atlântico na direção leste e a 2,5 km a nordeste de um rio que deságua no oceano, sofrendo influencia salina de duas fontes distintas.

Os principais momentos estatísticos descritivos (média, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose) foram determinados para cada ponto de amostragem utilizando o software STAT apresentado por Vieira et al. (2002). Os valores de coeficiente de variação (CV, %) foram utilizados para determinar a variabilidade dos dados segundo a classificação de Warrick & Nielsen (1980).

Para analisar a variabilidade espacial das variáveis, os dados foram analisados através de métodos geoestatísticos de análise de semivariogramas, descritos por Vieira (2000), partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca. A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada através da semivariância  $\gamma(h)$ , por meio do programa GEOSTAT (Vieira et al., 2002).

Modelos matemáticos foram ajustados aos semivariogramas, os quais permitiram visualizar a estrutura de variação espacial das variáveis. Os critérios e procedimentos para ajuste do modelo do semivariograma foram realizados conforme Vieira et al. (1983), considerando os métodos dos mínimos quadrados ordinários e mínimos quadrados ponderados e a validação cruzada. Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os parâmetros do semivariograma: a) efeito pepita ( $C_0$ ), que é o valor de  $\gamma$  quando  $h=0$ ; b) alcance da dependência espacial ( $a$ ), que é a distância em que  $\gamma(h)$  permanece aproximadamente constante, após aumentar com o aumento de  $h$ ; c) patamar ( $C_0+C_1$ ) que é o valor de  $\gamma(h)$  a partir do alcance e que se aproxima da variância dos dados, se ela existir. A análise geoestatística preliminar indicou que os dados da produtividade da cana-de-açúcar ( $t\ ha^{-1}$ ) apresentaram tendência, sendo então retirada a tendência por meio das seguintes equações para estimação dos resíduos:

1. Linear

$$m(x) = A_0 + A_1x + A_2y + A_3xy \quad (3)$$

2. Quadrática ou parabólica

$$m(x) = A_0 + A_1x + A_2y + A_3x^2 + A_4y^2 + A_5xy \quad (4)$$

3. Cúbica

$$m(x) = A_0 + A_1x + A_2y + A_3x^2 + A_4y^2 + A_5xy + A_6x^3 + A_7y^3 + A_8x^2y + A_9xy^2 \quad (5)$$

O semivariograma escalonado foi construído com a finalidade de se avaliar os padrões de variabilidade

espacial entre os atributos em estudo (Vieira, 2000; Vieira, 2002).

Para a análise do grau de dependência espacial (GD) das variáveis utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), considerando a seguinte relação:  $(C_0/C_0+C_1)*100$ , onde 0 a 25% (forte), entre 25 e 75% (moderada) e > 75% (fraca).

### 3.- Resultados e discussão

Os resultados estatísticos (Tabela 2) demonstram que a produtividade média da cana-de-açúcar na área de estudo é de 75,54  $t\ ha^{-1}$ . Ressaltasse que a produtividade na área é cerca de 66,02 % superior, com relação à média do Estado de Pernambuco para a safra de 2012/2013 (Conab, 2012).

Os valores médios para a condutividade elétrica aparente do solo medida por indução eletromagnética no dipolo vertical (CEa-V) e no dipolo horizontal (CEa-H), são relativamente próximos. Tal fato pode ser explicado porque no momento das amostragens o lençol freático encontrava-se próximo a superfície do solo, sendo este o fator que mais interferiu sobre as leituras realizadas com o EM38, corroborando com Lesch et al. (2005). Ressaltamos que na parte mais baixa do terreno o lençol freático encontrava-se junto à superfície do solo, afastando-se da superfície do solo com o aumento da topografia.

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos para os atributos em estudo

|               | Produtividade<br>( $t\ ha^{-1}$ ) | CEa-V                      |         | CEa-H |  |
|---------------|-----------------------------------|----------------------------|---------|-------|--|
|               |                                   | ----- (mS $m^{-1}$ ) ----- |         |       |  |
| Média         | 75,54                             | 15,67                      | 13,90   |       |  |
| Variância     | 241,94                            | 23,67                      | 31,80   |       |  |
| Desvio padrão | 15,55                             | 4,86                       | 5,64    |       |  |
| CV (%)        | 20,60                             | 31,10                      | 40,60   |       |  |
| Assimetria    | 2,041                             | -0,081                     | 0,087   |       |  |
| Curtose       | 9,112                             | -0,325                     | -0,349  |       |  |
| D             | 0,141 n                           | 0,076 n                    | 0,084 n |       |  |

CV: coeficiente de variação; D: Probabilidade de erro de 1% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; n: normal; Ln: lognormal

A produtividade apresentou o maior valor variância dos dados, uma vez que a mesma varia consideravelmente com as mudanças do solo ao longo da paisagem. Os valores de coeficiente de variação (CV, %) são classificados como medianos (12-60 %) conforme a classificação de Warrick e Nielsen (1980). Verifica-se um aumento dos valores de CV para a CEa-V (31,10 %) e a CEa-H (40,60 %). Siqueira et al. (2009) descrevem que as maiores diferenças entre os valores de condutividade elétrica medida por indução eletromagnética na camada superficial e em profundidade se devem as maiores diferenças do conteúdo de água no solo na camada superficial, sendo que em profundidade tal conteúdo torna-se mais estável. Este é confirmado por meio da análise do mapa topográfico da área de estudo (Fig. 2), uma vez que no momento das amostragens as partes mais baixas do

terreno encontravam-se encharcadas, enquanto que nas partes mais altas do terreno o lençol freático encontrava-se mais afastado da superfície, justificando as diferenças nas leituras da CEa.

Todos os atributos em estudos apresentaram distribuição de frequência normal, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (D) com probabilidade de erro de 1%.

A correlação linear entre os atributos (Tabela 3) demonstrou que o maior valor de correlação foi encontrado entre CEa-V x CEa-H (0,934). Justifica-se que este elevado valor correlação se deve a natureza de medição de ambas as propriedades, pois de acordo com Lesch et al. (2005) até 80% da resposta obtida com o dipolo vertical (CEa-V) são oriundas da camada superficial do solo (CEa-H). A correlação linear entre a produtividade e a CEa também foi elevada apresentando valores de 0,850 (produtividade x CEa-V) e 0,740 (produtividade x CEa-H). Dantas Neto et al. (2006) ressaltam o aumento da produtividade da cana-de-açúcar quando não há restrições hídricas. Desta maneira, os valores elevados de correlação entre a produtividade x CEa-V (0,850) e produtividade x CEa-H (0,740) são justificados uma vez que nas zonas mais elevadas a produtividade é menor e por sua vez os valores de CEa, ocorrendo aumento da produtividade e da CEa nas partes mais baixas do terreno.

**Tabela 3.** Correlação linear entre os atributos em estudo

|               | Produtividade<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | CEa-V<br>----- (mS m <sup>-1</sup> ) ----- | CEa-H |
|---------------|--|--|-------|
| Produtividade | 1,000                                  |  |       |
| CEa-V         | 0,850                                  | 1,000                                      |       |
| CEa-H         | 0,740                                  | 0,934                                      | 1,000 |

A análise geoestatística (Tabela 4) demonstrou que o modelo gaussiano foi o que mais se ajustou ao conjunto de dados. Siqueira et al. (2009) estudando a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo em área com gradiente topográfico ajustaram o modelo esférico para a CEa na camada superficial e em profundidade. A presença do modelo gaussiano para os dados em questão pode estar associada à presença de relevo côncavo na área de estudo, coincidindo com as áreas com maior produtividade e conseqüentemente com maiores valores de CEa devido ao maior conteúdo de água no solo quando comparado as partes mais elevadas. Os dados da produtividade da cana-de-açúcar apresentaram tendência sendo calculados os seus resíduos por meio de uma equação linear.

**Tabela 4.** Parâmetros de ajuste do semivariograma

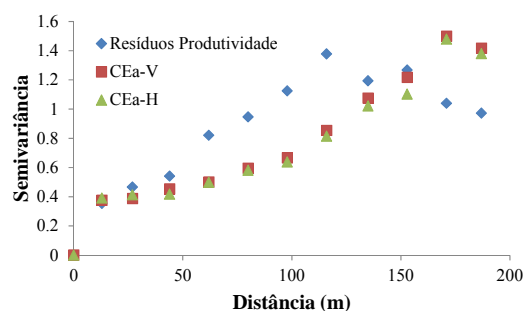
|                | Resíduos<br>Produtividade<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | CEa-V<br>----- (mS m <sup>-1</sup> ) ----- | CEa-H     |
|----------------|--|--|-----------|
| Modelo         | Gaussiano  | Gaussiano                                  | Gaussiano |
| C <sub>0</sub> | 200  | 6  | 10        |
| C <sub>1</sub> | 580  | 28   | 35        |
| a (m)          | 110  | 180  | 180       |
| GD             | 25,64  | 17,64                                      | 22,22     |

GD: grau de dependência espacial (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)100

A produtividade apresentou um alcance (a, m) de 110,00 m enquanto que a CEa-V e CEa-H apresentaram um valor de 180,00 m. Tal fato pode ser justificado considerando que entre os parâmetros de planta, a produtividade é o mais sensível as mudanças do solo ao longo do cenário agrícola. O grau de dependência espacial foi determinado conforme Cambardella et al. (1994), indicando elevada relação entre as amostras (GD ≤ 25,00 %).

O semivariograma escalonado demonstrou que existe um padrão de variabilidade espacial similar entre a produtividade e a CEa-V e a CEa-H. No entanto, pode-se verificar que o referido padrão ocorre em escalas diferentes de variabilidade espacial, uma vez que o comportamento da produtividade alcança maiores valores de C<sub>0</sub> e C<sub>1</sub> conforme Tabela 4, estando relacionado a maior variação dos valores de produtividade ao longo da área (variância = 241,94) quando comparado a CEa-V (23,67) e CEa-H (31,80, Tabela 2).

O semivariograma escalonado foi construído para se verificar se ocorria um padrão espacial similar entre os pares de semivariância para a produtividade, e a CEa-V e a CEa-H (Fig. 4).



**Fig. 4.** Semivariograma escalonado para a produtividade da cana-de-açúcar (t ha<sup>-1</sup>) e da condutividade elétrica aparente do solo (CEa-V e CEa-H, mS m<sup>-1</sup>) medida por indução eletromagnética

Os mapas de variabilidade espacial (Fig. 5a e 5b) confirmam a similaridade no padrão de distribuição espacial para a CEa-V e a CEa-H. Conforme apresentado anteriormente, tal similaridade é devida a presença de maiores valores de umidade do solo nas partes mais baixas do terreno, que por sua vez corroboram para a existência de maior produtividade (Fig. 5a). A maior similaridade entre os atributos analisados ocorre para os mapas temáticos de CEa (Fig. 5b e 5c).

A produtividade da cana-de-açúcar apresentou valores de correlação linear elevados com a CEa (Tabela 3), no entanto, quando analisamos os mapas de variabilidade espacial (Fig. 5), não é possível descrever uma relação clara entre o mapa de produtividade (Fig. 5a) e os mapas de CEa (Fig. 5b e 5c). Nota-se que o mapa de produtividade (Fig. 5a) apresenta na maior parte da área valores de produtividade superiores a 75,54 t ha<sup>-1</sup> que representa a média de produtividade na área,

alcançando valores de até  $160 \text{ t ha}^{-1}$ , coincidindo com zona côncava e com maiores valores de umidade do solo quando comparados às demais zonas, confirmando mais uma vez a relação hídrica da cultura e a sua produtividade (Dantas Neto et al., 2006). Verifica-se que na parte onde a área apresenta sua menor largura (Fig. 5a) e sua maior cota topográfica (Fig. 2) estão localizados os menores valores de produtividade, ocorrendo menores valores de produtividade também na parte superior esquerda do mapa onde ocorrem as menores cotas topográficas, evidenciando que o excesso de umidade também influencia a produtividade de cana-de-açúcar.

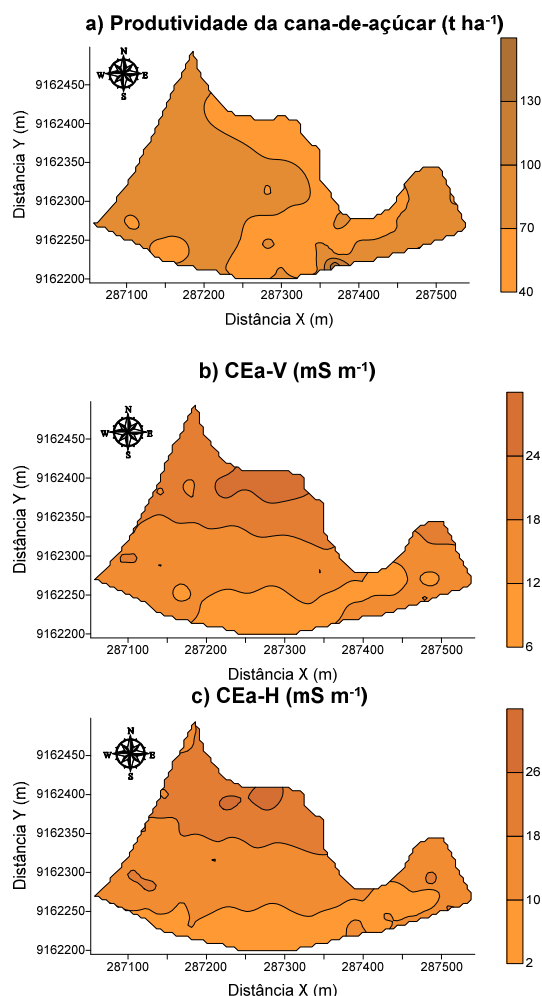


Fig. 5. Mapas temáticos de variabilidade espacial para: a) produtividade ( $\text{t ha}^{-1}$ ); b) CEa-V ( $\text{mS m}^{-1}$ ); c) CEa-H ( $\text{mS m}^{-1}$ )

#### 4.- Conclusões

Foram encontrados elevados valores de correlação entre a produtividade e a CEa do solo medida por indução eletromagnética. A forma do relevo demonstrou-se como fator limitante para o aumento da relação entre a produtividade e a CEa. O semivariograma escalonado não foi eficiente para confirmar a relação espacial entre os atributos em estudo. Os mapas de variabilidade

espacial apresentaram padrão similar para a produtividade e a CEa-V e a CEa-H. A condutividade elétrica medida por indução eletromagnética demonstrou-se como uma importante ferramenta para a predição da produtividade de cana-de-açúcar.

*Agradecimentos.* Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Brasil) e a FACEPE - Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Brasil) pelo apoio financeiro por meio de bolsa DCR - Desenvolvimento Científico Regional, e financiamento do projeto.

#### 5.- Bibliografia

- Brasil. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica, 1972. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco*. Recife, 2v. DNPEA. Boletim Técnico, 26; SUDENE-DRN. Série Pedologia, 14.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. *Levantamento detalhado dos solos da Estação Experimental de Itapirema*. Rio de Janeiro, Boletim Técnico, 12, 84.
- Camargo, O.A., A.C. Moniz, J.A. Jorge, e J.M.A.S. Valadares, 1986. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas: Instituto Agrônomo, Boletim técnico, 106, 94.
- Cambardella, C.A., T.B. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlem, R.F. Turvo, e A.E. Konopa, 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 1501-1511.
- Conab-Companhia Brasileira de Abastecimento, 2012. *Acompanhamento da safra brasileira Cana-de-açúcar safra 2012/2013 - Terceiro Levantamento* Dezembro/2012. [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_12\\_12\\_10\\_3\\_4\\_43\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_12\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_12_10_3_4_43_boletim_cana_portugues_12_2012.pdf). [consulta: 27 de março de 2013].
- Dantas Neto, J., J.L.C. Figueiredo, C.H.A. Farias, H.M. Azevedo, e C.A.V. Azevedo, 2006. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Rev. bras. eng. agric. ambient.* 10, 283-288.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ), 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, Documentos, 1, 212.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa, 306.
- Gheller, A.C.A., L.L. Menezes, S. Matsuoka, Y. Masuda, H.P. Hoffmann, H. Arizono, H., e A.A.F. Garcia, 1999. *Manual de método alternativo para medição da produção de cana-de-açúcar*. Araras: UFSCar, CCA, DBV, 7.
- Huth, N.I., e Poulton, P.L., 2007. An electromagnetic induction method for monitoring variation in soil moisture in agroforestry systems. *Aust. J. Soil Res.* 45, 63-72.
- Kühn, J., A. Brenning, M. Wehrhan, S. Koszinski, e M. Sommer, 2008. Interpretation of electrical conductivity patterns by soil properties and geological maps for precision agriculture. *Precision Agriculture*. doi: 10.1007/s11119-008-9103-z.
- Lall, S., 2002. Globalization and development: perspectives for emerging nations. Prepared for the BNDES 50th Anniversary Seminar. Rio de Janeiro, Brazil.
- Lesch, S.M., D.L. Corwin, D.L., e D.A. Robinson, 2005. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 351-378.
- McNeill, J.D., 1980. Electrical conductivity of soils and rocks. Technical Note, TN-5, Geonics Ltda, Ontario, 22.
- Siqueira, G.M., J. Dafonte Dafonte, e A. Paz González, 2009. Estimación de la textura y contenido de agua en el suelo a partir de datos de conductividad eléctrica utilizando geoestadística multivariante. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. IX*, 228-235.
- Sudduth, K.A., N.R. Kitchen, e W.J. Wiebold, 2005. Relating apparent

- electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 43: 263-283.
- Vieira, S. R., 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo, en *Tópicos em Ciência do solo*, ed. Novais, R.F., Alvarez, V.H., Schaefer, G.R., Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1, 1-54.
- Vieira, S.R., Hatfield, J.L., Nielsen, D.R., e Biggar, J.W., 1983. *Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia*, 51(3): 1-75.
- Vieira, S.R., Millete, J., Topp, G.C., e Reynolds, W.D., 2002. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data, en *Tópicos em Ciência do Solo*, ed. Alvarez, V.V.H., Schaefer, C.E.G.R., Barros, N.F., Mello, J.W.V., Costa, J.M., Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2, 1-45.
- Warrick, A.W., e Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field, en *Applications of soil physics*, Hillel, D., New York, Academic Press. 319-344.