

**Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e produção de palma forrageira no semiárido pernambucano****Spatial variability of soil physical attributes and forage palm production in Pernambuco semiarid**

DOI:10.34117/bjdv6n2-169

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 17/02/2020

**Marcos Vinícius da Silva**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutorando (a) em Engenharia Agrícola  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil  
E-mail: marcolino\_114@hotmail.com

**Gledson Luiz Pontes de Almeida**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutor do Departamento de Engenharia Agrícola,  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**Abelardo Antônio de Assunção Montenegro**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutor do Departamento de Engenharia Agrícola  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**Héilton Pandorfi**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutor do Departamento de Engenharia Agrícola,  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**Pedro Henrique Dias Batista**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutorando (a) em Engenharia Agrícola  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**Rodes Angelo Batista da Silva**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutorando (a) em Engenharia Agrícola,  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**Gleidiana Amélia Pontes de Almeida Macêdo**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**Mário Monteiro Rolim**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutor do Departamento de Engenharia Agrícola  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**Taize Calvacante Santana**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Mestranda em Engenharia Agrícola  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**Sávio Duarte Lopes Cavalcanti**

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutorando (a) em Engenharia Agrícola,  
Rua Manuel de Medeiros, s/n, 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil

**RESUMO**

A distribuição espacial dos atributos físicos do solo relacionada com a produção de alimentos para animais, tem impacto relevante nas técnicas de manejo agropecuário. Objetivou-se investigar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de cultivo de palma forrageira e sua influência no desenvolvimento da cultura. O estudo foi realizado na Região Agreste do estado de Pernambuco. Estabeleceu-se uma malha de 36 pontos e grid de 6x6 m, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. As variáveis estudadas foram resistência a penetração, umidade, densidade do solo, porosidade total, altura da planta e número de raquetes da planta. Conforme a estatística descritiva evidenciou baixo coeficiente de variação para as variáveis densidade do solo e porosidade total, em ambas as camadas. O grau de dependência espacial para a densidade do solo foi forte para a camada de 10-20 cm, para a resistência a penetração moderado na primeira camada e forte na segunda camada do solo, tendo marcante influência no número de raquetes, com os maiores valores de resistência associados a baixos valores de raquetes. As áreas com menor resistência a penetração e densidade do solo e, maior umidade e porosidade total foram as que apresentaram maior número de raquetes de palma forrageira.

**Palavras-chave:** dependência espacial, geoestatística, forragem, krigagem

**ABSTRACT**

The spatial distribution of soil physical attributes related to feed production has a relevant impact on agricultural management techniques. The objective of this study was to investigate the spatial variability of soil physical attributes in forage palm cultivation area and its influence on crop development. The study was conducted in the Agreste Region of Pernambuco State. A mesh of 36 points and grid of 6x6 m was established in the 0-10 and 10-20 cm layers. The variables studied were penetration resistance, moisture, soil density, total porosity, plant height and number of plant rackets. According to the descriptive statistics showed low coefficient of variation for the variables soil density and total porosity in both layers. The degree of spatial dependence on soil density was strong for the 10-20 cm layer, for moderate penetration resistance in the first layer and strong in the second soil layer, having a marked influence on the number of rackets, with the highest values. resistance associated with low racket values. The areas with lower resistance to penetration and soil density and higher moisture and total porosity presented the highest number of forage palm rackets.

**Keywords:** spatial dependence, geostatistics, forage, kriging

**1 INTRODUÇÃO**

O semiárido brasileiro ocupa 11,54% do território nacional. Com exceção do Maranhão - MA, o semiárido compreende oito estados da região nordeste. Pernambuco possui 65,95% de seu território no semiárido (IBGE, 2010).

O semiárido brasileiro ocasiona limitações para o desenvolvimento da bovinocultura de leite, que resulta na baixa produtividade, consequência da limitada oferta nutricional e qualidade de forragens ao longo do ano. Este fato está agregado à baixa resistência de forrageiras no período de estiagem na região semiárida (Leite et al., 2014).

Todavia, o cultivo de palma forrageira no semiárido nordestino, torna-se uma alternativa estratégica para a alimentação dos bovinos (Galvão Júnior et al., 2014) devido a menor exigência

hídrica da cultura e a elevada produção de fitomassa (Galvão Júnior et al., 2014; Silva & Sampaio, 2015).

O sistema radicular das plantas apresenta um papel fundamental para seu desenvolvimento, uma vez que através da raiz ocorre absorção de água e nutrientes, elementos vitais para o desenvolvimento da planta (Zúñiga-Tarango et al., 2009). Neste contexto, a palma forrageira apresenta raízes superficiais e carnosas, com distribuição horizontal, dependendo diretamente do tipo de solo e de manejo do plantio. Sob condições favoráveis de solo essa planta desenvolve raízes estendidas podendo penetrar quase 30 cm com dispersão de 4 a 8 metros no solo. Sobretudo é importante ressaltar que para o plantio da palma forrageira é fundamental que o solo apresente boa drenagem, uma vez que áreas sujeitas a encharcamento não são adequadas para seu cultivo.

Os atributos físicos do solo, correlacionados com o manejo da cultura da palma pode fornecer subsídios para melhorias nas técnicas de manejo (Dias Filho, 2007; Guimarães et al., 2016; Peixoto et al., 2018), visando o melhor desempenho da cultura. O estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo como visto por Montenegro & Montenegro (2006), possibilita identificar regiões mais susceptíveis a processos de degradação. Santos et al. (2012), em estudo na mesma planície aluvial, aplicando a geoestatística, verificou os padrões de variação da resistência à penetração, correlacionando com os atributos texturais do solo.

Neste contexto, objetivou-se investigar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de cultivo de palma forrageira e sua influência no desenvolvimento da cultura.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no mês de outubro de 2017 na Fazenda Roçadinho, propriedade destinada a produção de bovinos de leite, localizada no município de Capoeiras, Região Agreste do estado de Pernambuco, Brasil (8°36'25,2"S, 36°37'22,8"W e 763 m de altitude). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é Bsh (semiárido quente). Segundo o Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa – BDMEP (2017), entre os meses de agosto de 2016 a setembro de 2017 a precipitação pluviométrica total do município foi de 1051,30 mm.

Investigou-se uma área cultivada com palma forrageira cultivar miúda (*Nopalea cochenillifera*), em regime de sequeiro, voltada para a alimentação de bovinos de leite. A cultura foi implantada em 01 de outubro de 2016 e o espaçamento entre plantas foi de 1,2x0,2 m, com um estande de 41666 plantas ha<sup>-1</sup>. O solo da área foi classificado como Neossolo Regolítico Distrófico (Morrill et al., 2012). A Tabela 1 apresenta a caracterização física do solo de estudo.

Tabela 1. Caracterização física do solo da área estudada no perfil de 0-20 cm

Característica	Triângulo estrutural
Areia (g/kg)	708
Silte (g/kg)	281
Argila (g/kg)	11

Foi delimitada uma área de produção de palma forrageira, para a coleta de solo, com 1156 m<sup>2</sup> (34x34 m, com 2 m de bordadura). Estabeleceu-se uma malha de 36 pontos, com grid de 6x6 m (Figura 1). Foram coletadas amostras indeformadas o mais rente possível da planta de palma, utilizando amostrador do tipo Uhland, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

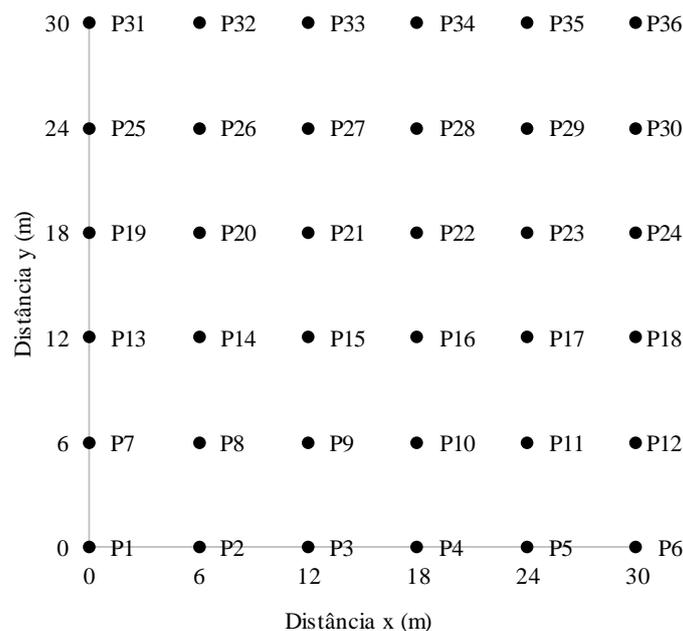


Figura 1. Malha da área de amostragem

As análises físicas realizadas foram: densidade do solo (Ds), a umidade do solo (U) e a porosidade total (Pt), conforme a metodologia estabelecida pela EMBRAPA (2011). A estimativa da resistência a penetração (RP) foi realizada em campo através de penetrômetro de impacto (modelo IAA/Planalsucas-Stolf), no qual a massa de 4 Kg sofreu uma queda livre de 0,4 m, em que se contabilizou o número de impactos necessários para que a haste do penetrômetro fosse introduzida nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm. O número de impactos foi convertido em resistência

dinâmica ( $\text{Kgf cm}^{-2}$ ), por meio da Equação proposta por Stolf (1991). Para converter a RP para  $\text{Kgf cm}^{-2}$ , multiplicou-se a constante de 0,098, proposta por Tavares Filho & Ribon (2008), pelo resultado obtido na Equação 1, obtendo-se a RP em MPa:

$$RP = 5,6 + (6,89*N) \quad \text{Eq. 1}$$

em que: RP– resistência à penetração ( $\text{kgf cm}^{-2}$ ); N– número de impactos.

De acordo com os resultados obtidos, a resistência a penetração foi classificada como baixa ( $RP < 0,1\text{MPa}$ ), moderada ( $0,1 \leq RP < 2,0\text{MPa}$ ), alta ( $2,0 \leq RP < 4,0\text{MPa}$ ) e muito alta ( $RP > 4,0\text{MPa}$ ) (Soil Science Division staff, 2017).

A altura da planta (Al) foi determinada por meio de uma trena, onde se mediu a altura no local de coleta da amostra de solo. O número de raquetes (NRq) foi determinado através da contagem de raquetes da planta.

Foi feita a estatística descritiva às variáveis estudadas, para se obter a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Para se verificar a normalidade dos dados, aplicou o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme os limites propostos por Warrick & Nielsen (1980), para a avaliação da variabilidade dos atributos do solo por meio do coeficiente de variação (CV), considera-se como variabilidade baixa ( $CV < 12\%$ ), média ( $12\% \leq CV \leq 24\%$ ) e alta ( $CV > 24\%$ ).

Fez-se uso de gráfico tipos “boxplots”, para identificação outliers. Tal metodologia aplicada, seguiu as recomendações de Santos et al. (2012). Posteriormente foi feita a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, altura e número de raquetes, em que foi calculado os pares de pontos de medição, por meio da semivariância  $\gamma(h)$ , estimada através da equação 2:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2 \quad \text{Eq. 2}$$

em que:  $\gamma^*(h)$  – semivariância experimental, obtida entre valores amostrados  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ ;  $N(h)$  – número de pares separados pela distância;  $h$  – distância entre pontos amostrais;  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  – valores da  $i$ -ésima observação da variável regionalizada, estimada nos pontos  $x_i$  e  $x_i+h$  ( $i = 1, \dots, n$ ).

Os modelos matemáticos (esférico, exponencial e gaussiano) foram ajustados aos semivariogramas e estimado os seus parâmetros, o efeito pepita ( $C_0$ ), o alcance ( $a$ ) e o patamar ( $C_0 +$

C<sub>1</sub>), selecionando o modelo que apresentasse maior coeficiente de determinação no ajuste do semivariograma (R<sup>2</sup>).

A validação do semivariograma ajustado, foi feita pela técnica do Jack-Knifing, em que cada um dos valores medidos em campo foi interpolado pelo método da krigagem, no qual se elimina os valores medidos, substituindo-os pelas estimativas, posteriormente, calcula-se a distribuição dos erros padronizados, em que a média deve ser próxima a zero e o desvio-padrão próximo a 1 (Vauclin et al., 1983).

O grau de dependência espacial – GDE foi determinado de acordo com Cambardella et al. (1994), que sugerem que a proporção entre a porcentagem do efeito pepita (C<sub>0</sub>) em relação ao patamar (C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>) apresenta dependência forte quando < 25%, moderada entre 25 e 75% e fraca quando > 75%.

As análises geoestatísticas foram feitas no GS+ versão 7.0 e a interpolação dos dados foram realizadas pelo método de krigagem utilizando o programa software Surfer 9. Para validação dos semivariogramas gerados, utilizou o software GEOEAS.

Os mapas gerados dos atributos físicos do solo foram relacionados aos mapas das análises biométricas da planta, altura da planta (Al) e número de raquetes (NRq), em que buscou-se identificar influência dos atributos do solo às características da planta, conforme estudos de produtividade de palma forrageira no semiárido (Pinheiro et al. 2014; Queiroz et al. 2015; Queiroz et al. 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov, pode-se observar normalidade para todas as variáveis estudadas (Tabela 2). Observa-se que a assimetria se encontra próxima a zero e os valores da média e mediana apresentam similaridade, indicando distribuição simétrica (normalidade), para todas as variáveis, variação similar também foi observada por Mion et al. (2012), Santos et al. (2012) e Araújo et al. (2014).

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos físicos do solo nas camadas 0-10 e 10-20 cm e biometria da planta

Variáveis	Média	Mediana	<sup>7</sup> DP	<sup>8</sup> CV	<sup>9</sup> A	<sup>10</sup> C	<sup>11</sup> D
0-10 (cm)							
<sup>1</sup> RP	0,816	0,793	0,381	46,700	0,021	-0,550	0,217*
<sup>2</sup> U	2,547	2,541	1,004	39,400	0,228	-0,072	0,107*
<sup>3</sup> Ds	1,510	1,519	0,071	4,700	-0,096	-0,251	0,089*
<sup>4</sup> Pt	42,687	42,358	2,686	6,300	0,096	-0,251	0,089*
10-20 (cm)							
<sup>1</sup> RP	4,869	4,599	1,430	29,400	0,917	0,420	0,196*
<sup>2</sup> U	2,282	2,296	0,990	43,400	0,178	0,052	0,085*
<sup>3</sup> Ds	1,487	1,497	0,093	6,300	-0,377	-0,361	0,098*
<sup>4</sup> Pt	43,571	43,190	3,540	8,100	0,377	-0,361	0,098*
Características Biométricas							
<sup>5</sup> Al	47,424	46,000	6,170	13,000	0,762	0,890	0,117*
<sup>6</sup> NRq	9,531	9,500	3,233	0,339	0,348	0,387	0,161*

<sup>1</sup>RP: Resistência a penetração (MPa); <sup>2</sup>U: Umidade do solo (%); <sup>3</sup>Ds: Densidade do Solo (kg dm<sup>-3</sup>); <sup>4</sup>Pt: Porosidade total (%); <sup>5</sup>Al: Altura da planta (cm); NRq: <sup>6</sup>Número de raquetes de palma forrageira; <sup>7</sup>DP: Desvio Padrão; <sup>8</sup>CV: Coeficiente de Variação; <sup>9</sup>A: Assimetria; <sup>10</sup>C: Curtose; <sup>11</sup>KS: Normalidade por K-S; \*Significativo a 1%.

De acordo com Warrick & Nielsen (1980), o coeficiente de variação foi baixo para as variáveis Ds e Pt, em ambas as camadas (Tabela 2), fato também constatado por Batista et al. (2017) para as mesmas variáveis, em estudo da variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel, no Agreste Pernambucano.

Para os valores da RP e U, em ambas camadas, o coeficiente de variação foi alto (Tabela 2). Esses resultados não foram evidenciados por Batista et al. (2017), que encontraram CV médio (RP) e baixo (U), respectivamente, em ambas profundidades. Quanto a características da planta, a altura e número de raquetes da palma, apresentaram CV baixo.

Os modelos de semivariogramas gerados e validados apresentaram dependência espacial, para os atributos físicos do solo e variáveis da planta (Tabela 3).

A densidade do solo (Ds) na camada de 0-10 cm e a altura da planta (Al) apresentaram efeito pepita puro (EPP), ou seja, não houve dependência espacial para o grid estabelecido (Tabela 3). Moraes et al. (2016) salienta que o EPP é decorrente da ausência de dependência espacial entre as variáveis estudadas, em função da distância utilizada não ser suficiente para se identificar a variabilidade espacial dos atributos estudados.

Tabela 3. Modelos de semivariogramas gerados e grau de dependência espacial (GDE) do conjunto de dados

Var	Modelo	<sup>7</sup> C <sub>0</sub>	<sup>8</sup> C <sub>0</sub> +C	<sup>9</sup> A	<sup>10</sup> R <sup>2</sup>	<sup>11</sup> C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C)	<sup>12</sup> GDE	Jack-Knifing	
								<sup>13</sup> Méd	<sup>14</sup> DP
0-10 (cm)									
<sup>1</sup> RP	Gau	0,449	3,008	93,063	0,907	14,926	Ft	-0,043	1,133
<sup>2</sup> U	Exp	0,644	1,454	88,680	0,952	44,291	Md	-0,008	1,041
<sup>3</sup> Ds	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>4</sup> Pt	Gau	0,050	10,109	34	0,950	0,494	Ft	0,039	1,076
10-20 (cm)									
<sup>1</sup> RP	Gau	1,150	4,310	58,404	0,876	26,682	Md	0,007	1,088
<sup>2</sup> U	Exp	0,090	1,039	16,320	0,623	8,662	Ft	-0,001	0,931
<sup>3</sup> Ds	Esf	1.10 <sup>-5</sup>	0,008	9,390	0,674	0,116	Ft	0,012	0,992
<sup>4</sup> Pt	Gau	0,010	21,010	38,815	0,971	0,047	Ft	0,093	0,997
Características Biométricas									
<sup>5</sup> Al	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>6</sup> NRq	Exp	1,840	11,950	35,10	0,739	15,397	Ft	-0,035	0,970

<sup>1</sup>RP: Resistência a penetração (MPa); <sup>2</sup>U: Umidade do solo (%); <sup>3</sup>Ds: Densidade do Solo (kg dm<sup>-3</sup>); <sup>4</sup>Pt: Porosidade total (%); <sup>5</sup>Al: Altura da planta (cm); <sup>6</sup>NRq: Número de raquetes de palma forrageira; <sup>7</sup>C<sub>0</sub>: Efeito Pepita; <sup>8</sup>C<sub>0</sub>+C: Patamar; <sup>9</sup>A: Alcance; <sup>10</sup>R<sup>2</sup>: Ajuste do semivariograma; <sup>11</sup>C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C): % do GDE; <sup>12</sup>GDE: Grau de Dependência Espacial; <sup>13</sup>Méd: Média; <sup>14</sup>DP: Desvio padrão; Gau: Gaussiano; Exp: Exponencial; Esf: Esférico; EPP: Efeito Pepita Puro; Ft: Forte; Md: Moderado.

Houve presença de outliers para a variável RP em ambas as camadas do solo. Para as variáveis da planta, verificou-se a presença de outliers tanto para altura da planta, quanto para o número de raquetes (Tabela 3). De acordo com Cambardella et al. (1994), incertezas nas medições, como pequenas variações não observadas e a distância de amostragem utilizada influenciam as estatísticas dos dados, podendo acarretar outliers e tendo influência na estacionariedade da geoestatística.

No estudo de semivariograma, o alcance representa a escala de dependência espacial entre os pontos amostrados. O menor alcance observado na Tabela 3 foi para a variável Ds na camada de 10-20 cm e o maior alcance encontrado foi para a RP na camada de 0-10 cm, apresentando valores da ordem de 9,390 e 93,063 m, respectivamente. Silva et al. (2017) avaliando a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração, observaram alcance para a variável RP de 15,75 e 19,47 m, respectivamente. Já Araújo et al. (2014) observam alcances de 403,2 e 198,90 m para a RP em duas áreas de 2,3 e 0,5 ha, respectivamente, ao avaliara variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo.

O grau de dependência espacial (GDE) para a densidade do solo (Ds) apresentou EPP para a profundidade de 0-10 cm e, GDE forte para a camada de 10-20 cm, o mesmo encontrado por Araújo et al. (2018), no estudo em uma bacia experimental do Semiárido Pernambucano, onde concluíram que o grid de 35 pontos utilizado não foi suficiente para identificar as estruturas de variabilidade espacial da Ds.

As variáveis apresentaram coeficiente de ajuste do semivariograma ( $R^2$ ) superior a 0,62 (Tabela 3), o que significa dizer que no mínimo 62% da variabilidade encontrada foram estimadas pelos modelos, valores semelhantes aos de Batista et al. (2017), que estudaram a variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel no agreste pernambucano. Os melhores coeficientes de ajuste foram obtidos para as variáveis U e Pt, para a camada de 0-10 cm, com valores de 0,952 e 0,950, respectivamente. Já na camada de 10-20 cm, foram as variáveis RP e Pt que apresentaram os melhores ajustes, com valores de 0,876 e 0,971, respectivamente.

Os mapas de krigagem para a resistência a penetração (Figura 2A, B), umidade (Figura 2C, D), porosidade total (Figura 2E, F), em ambas camadas e densidade do solo (Figura 2G) e número de raquetes (Figura 2H) possibilitam verificar os padrões de variabilidade. De acordo com a ASAE (1999), a RP é fortemente influenciada pela densidade do solo e por sua umidade. Pode-se observar no mapa de krigagem, que as regiões com os maiores valores de U em ambas camadas e Ds na camada de 10-20 cm, correspondem a áreas com menores valores de RP, estando tais variáveis espacialmente correlacionadas.

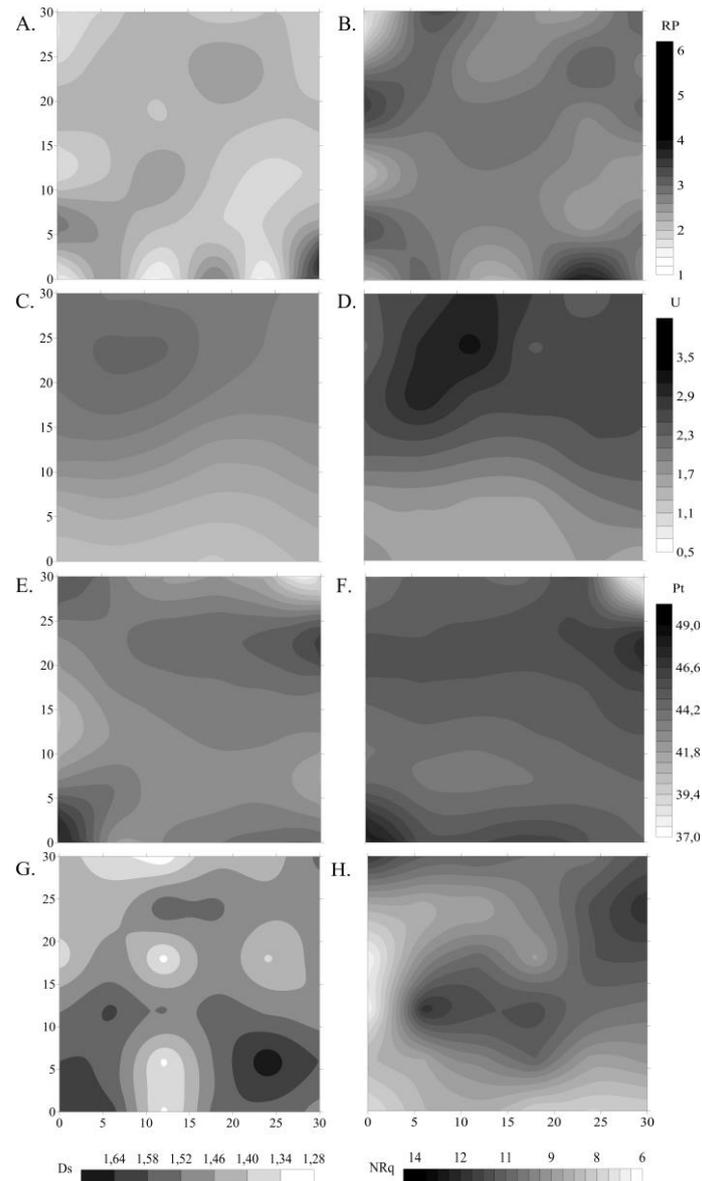


Figura 2. Mapas de krigagem da resistência a penetração (RP), umidade (U), densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt) do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e produção de raquetes (NRq)

A, B: resistência a penetração (MPa) nas camadas 0-10 e 10-20 cm respectivamente; C, D: umidade (%) nas camadas 0-10 e 10-20 cm respectivamente; E, F: porosidade total (%) nas camadas 0-10 e 10-20 cm; G: densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) na camada 10-20 cm; H: número de raquetes.

A área que apresentou menor resistência a penetração (RP) e densidade do solo (Ds), foi a que consequentemente apresentou maior umidade e porosidade total. Diante desses achados, as melhores condições físicas do solo nestes pontos, foram as que apresentaram maior número de raquetes de palma forrageira.

A RP variou de 1,38 a 3,08 MPa para a camada de 0-10 cm, e de 3,88 a 6,25 MPa para a camada de 10-20 cm. De acordo com Soil Science Division Staff (2017), a RP variou de moderada a forte para a primeira camada e somente forte para a segunda camada do solo, tendo influência no NRq (Figura 2J), em que os maiores valores de RP e Ds e os menores valores de U e Pt, acarretaram

em baixos valores de NRq, sendo assim, consideradas como variáveis chave para explicar a redução e aumento da produtividade de palma.

O número de raquetes variou de 4 a 14 unidades de raquetes por planta (Figura 2-J). De acordo com Queiroz et al. (2015), a média da produtividade de raquetes é de 14 unidades planta<sup>-1</sup>, fato não constatado no estudo, pois cerca de 70% da área manteve média de 9 unidades planta<sup>-1</sup>. Apenas 20% da área apresentou média de 13 unidade planta<sup>-1</sup>, ainda assim, abaixo da média reportada. O restante da área apresentou média inferior a 9 unidades planta<sup>-1</sup>. Todavia, nas regiões em que a U e Pt foram maiores e a RP e Ds menor, o NRq foi maior.

De acordo com Queiroz et al. (2016), a produtividade por área cultivada pode ser expressa pelo retorno financeiro, que por sua vez é determinado pela produtividade econômica da terra (PET). Para a palma forrageira, o PET é determinado a partir do número de raquetes. Desse modo, a produtividade da área em estudo poderá não apresentar elevado retorno financeiro, devido à baixa umidade e alta resistência à penetração do solo, apesar de apresentar elevado potencial estratégico, uma vez que foi manejado em regime de sequeiro.

#### **4 CONCLUSÕES**

As áreas com menor resistência a penetração e densidade do solo e, maior umidade e porosidade total foram as que apresentaram maior número de raquetes de palma forrageira.

Os atributos físicos do solo, apresentaram grau de dependência espacial forte, para todas as camadas avaliadas, com exceção da umidade na camada 0-10 cm e da resistência à penetração do solo na camada 10-20 cm, que foi moderado.

O uso da geoestatística foi necessário para estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo relacionando com o manejo da cultura da palma em região semiárida, podendo auxiliar os produtores da região.

#### **REFERÊNCIAS**

- Araújo, D. C. S.; Montenegro, S. M. G. L.; Montenegro, A. A. A.; Silva Junior, V. P. e; Santos, S. M. dos. Variabilidade espacial de atributos de solo em uma bacia experimental do Semiárido Pernambucano, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 1, p. 38-44, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p38-44>.
- Araújo, D. R.; Mion, R. L.; Sombra, W. A.; Andrade, R. R. de; Amorim, M. Q. Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 2, p. 101-115, 2014. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237131344011>.

- ASAE - American Society of Agricultural Engineers. Soil Cone Penetrometer. In: Asae Standards 1999: Standards Engineering Practices Data. 46th (ed.) St. Joseph, 1999. p. 834-835.
- Batista, P. H. D.; Almeida, G. L. P. de; Tavares, U. E.; Nascimento, V. N. de; Sarmiento, R. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel no Agreste Pernambucano. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 25, n. 4, p. 307-317, 2017. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i4.771>.
- BDMEP. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. 21 Dez. 2018.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society Amsterdam Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.
- Dias Filho, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 215. p.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2011. 230. p.
- Galvão Júnior, J. G. B.; Silva, J. B. A. da; Morais, J. H. G.; Lima, R. N. de. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. *Acta Veterinaria Brasilica*, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014. <https://doi.org/10.21708/avb.2014.8.2.3490>.
- Guimarães, W. D.; Gripp Junior, J.; Marques, E. A. G.; Santos, N. T.; Fernandes, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 2, p. 247-255, 2016. 10.5935/1806-6690.20160029.
- IBGE. Atlas do censo demográfico 2010 – Semiárido. [http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork\\_ibge/srv/por/metadata.show?id=17809&currTab=simple](http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/metadata.show?id=17809&currTab=simple). 21 Set. 2017.
- Leite, M. L. M. V.; Silva, D. S. da; Andrade, A. P. de; Pereira, W. E.; Ramos, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237131344021>.
- Mion, R. L.; Nascimento, E. M. S.; Sales, F. A. L.; Silva, S. F. da; Duarte, J. M. L.; Sousa, B. M. de. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744116003>.
- Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Revista Brasileira de*

- Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 1, p. 30-37, 2006.  
<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v10n1/v10n1a05.pdf>. 20 Nov. 2018.
- Moraes, D. A. C.; Spadotto, C. A.; Sartori, A. A. C.; Zimback, C. R. L. Variabilidade espacial do risco de contaminação de águas subterrâneas por tebutiuron em área de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 12, p. 1992-1999, 2016. 10.1590/S0100-204X2016001200010.
- Morrill, W.B.; Rolim, M.M.; Bezerra Neto, E.; Pedrosa, E.M.; Oliveira, V.S.; Almeida, G.L. Produção e nutrientes minerais de milho forrageiro e sorgo sudão adubado com soro de leite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 182-188, 2012. 10.1590/S1415-43662012000200008.
- Peixoto, M. J. A.; Carneiro, M. D. S.; Amorim, D. S.; Edvan, R. L.; Pereira, E. S.; Costa, M. R. G. F. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. *Archivos de zootecnia*, v. 67, n. 257, p. 35-39, 2018.  
<https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3489>
- Pinheiro, K. M.; Silva, T. G. F. da; Carvalho, H. F. S.; Santos, J. E. O.; Moraes, J. E. F. de; Zolnier, S.; Santos, D. C. dos. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014. 10.1590/S0100-204X2014001200004.
- Queiroz, M. G. D. E.; Silva, T. G. F. da; Zolnier, S.; Silva, S. M. S. e; Souza, C. A. A. de; Carvalho, H. F. S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. *Irriga, Botucatu, Edição Especial, Irrigação*, p. 141-154, 2016.  
<https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>.
- Queiroz, M. G. de.; Silva, T. G. F. da; Zolnier, S.; Silva, S. M. S. e; Lima, L. R.; Alves, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 931-938, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>.
- Santos, K. S.; Montenegro, A. A. A.; Almeida, B. G. de; Montenegro, S. M. G. L.; Andrade, T. S.; Fontes Júnior, R. V. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 8, p. 828-835, 2012. 10.1590/S1415-43662012000800003.
- Silva, F. J.; Oliveira, C. A. A. de; Silva Almeida, L. da; Lima, L. P. de; Guimarães, E. C. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e produtividade do milho. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 4, n. 3, p. 77-84, 2017. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i3.1625>.

- Silva, R. R.; Sampaio, E. V. S. B. Palmas forrageiras *Opuntia fícus-indica* e *Nopaleacochenillifera*: sistemas de produção e usos. *Revista Geama*, v. 1, n. 2, p. 131-141, 2015. <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/504/1424>. 10 Nov. 2018.
- Silva, T. G. F. da.; Primo, J. T. A.; Morais, J. E. F. de; Silva Diniz, W. J. da; Souza, C. A. A. de; Silva, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015. [https://rbmv.org/index.php/caatinga/article/view/3630/pdf\\_241](https://rbmv.org/index.php/caatinga/article/view/3630/pdf_241). 05 Dez. 2018.
- Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 15, p. 229-235, 1991.
- Tavares Filho, J.; Ribon, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 487-494, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200003>.
- Vauclin, M.; Vieira, S. R.; Vachaud, G.; Nielsen, D. R. The use of cokriging with limited field soil observations. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 47, n. 1, p. 175-184, 1983. 10.2136/sssaj1983.03615995004700020001x.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. 1980. 319-344. p.
- Zúñiga-Tarango, R.; Orona-Castillo, I.; Vázquez-Vázquez, C.; Murillo-Amador, B.; Salazar-Sosa, E.; López-Martínez, J. D.; García-Hernández, J. L.; Rueda-Puente, E. Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en diferentes tratamientos de fertilización. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v. 11, n. 3, p. 53-68, 2009. <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=68949191044&partnerID=8YFLogxK>