

PROBABILIDADE DE SEQUÊNCIA DE DIAS TRABALHÁVEIS COM MÁQUINAS COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS NA REGIÃO DE PIRACICABA, SP

MONTEIRO, L. A.¹; SENTELHAS, P. C.²; PIEDADE, S. M. de S.³

¹ Eng. Agrônomo, Mestrando, PPG em Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Fone: (19) 3429 4123 R.236, leomonteiro@usp.br, ² Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Depto de Engenharia de Biosistemas - ESALQ/USP, Piracicaba, SP. ³ Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto Ciências Exatas – ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES

RESUMO: O crescente uso de matérias-primas como combustíveis alternativos ao petróleo é uma realidade no âmbito social. Por isso o governo brasileiro vem subsidiando pesquisas com a cultura da cana-de-açúcar, buscando o aumento da produtividade desta, já que o país localiza-se numa região privilegiada climaticamente para seu cultivo. Entretanto, o uso intenso de máquinas agrícolas nas áreas de cana vem prejudicando as condições físicas do solo e, conseqüentemente, a produtividade da cultura. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi determinar as probabilidades de seqüências de dias trabalháveis (com chuva < 5 mm e armazenamento de água no solo entre 40 e 90% da capacidade de água disponível) por decênio, durante o período de 1979 a 2008, visando ao planejamento das operações com máquinas agrícolas em diferentes períodos do ano na região de Piracicaba, SP. Para tanto, empregou-se o método da Cadeia de Markov para a determinação das probabilidades condicionais e do número seqüencial de dias favoráveis ao tráfego de máquinas no campo. O mês de julho apresentou as maiores probabilidades de ocorrência, ou seja, cerca de 80% de ter pelo menos um dia trabalhável e de 40% de ter de 6 a 10 dias trabalháveis. O mês de janeiro foi o que apresentou as menores probabilidades, não ultrapassando 50% de ter pelo menos um dia trabalhável e de menos de 10% de probabilidade de ter de 4 a 10 dias trabalháveis.

Palavras chave: Cadeia de Markov, chuva, armazenamento de água no solo.

ABSTRACT: The increasing use of raw materials as alternative fuels to oil is a reality in our society. Thus the Brazilian government is subsidizing research into the cultivation of sugar cane, trying to increase productivity of this crop, as the country is located in a climatically privileged region for agricultural practice. However, the intense use of agricultural machinery mainly affect both the yield and soil physical conditions. Therefore, the objective of this paper was to determine the probabilities of sequences of decennially workable days (rainfall < 5 mm and soil water storage between 40 and 90% of available water capacity) during the period 1979 to 2008, through the Markov Chain, for the planning of operations with agricultural machinery in different seasons in Piracicaba, SP, Brazil. The Markov Chain was used for simulating the conditional probabilities and the sequence of workable days for machinery traffic. The month of July showed the highest probabilities of occurrence, ie about 80% for one workable day and 40% had 6 to 10 workable days. The month of January showed lower odds of not more than 50% having one workable day and 4 to 10 days there were likely more than 10%.

Key words: Markov Chain; rainfall; soil water storage.

INTRODUÇÃO: O Brasil tem investido na produção de energia a partir do álcool proveniente da cana-de-açúcar, já que sua extensão territorial, aliada às privilegiadas condições climáticas, proporciona o cultivo dessa cultura em larga escala. Durante a safra de 2008/09 cerca de 560 milhões de toneladas de cana-de-açúcar foram produzidas no Brasil,

com destaque para o Estado de São Paulo, o qual foi responsável por aproximadamente 56% da produção (BRASIL, 2009). Com esses dados é possível imaginar que o tráfego de máquinas nos locais de cultivo desde o preparo do solo até a colheita é bastante intenso durante todas as épocas do ano. Dessa maneira, esse intenso trânsito pode acarretar efeitos não somente às propriedades físicas do solo, mas também à produtividade da cultura já que a estrutura e aeração do solo, juntamente com o processo de absorção de água e nutrientes pelas raízes, ficarão prejudicadas. Diversos trabalhos já foram realizados com o propósito de determinar o número de dias trabalháveis com máquinas agrícolas em uma determinada região utilizando variáveis climáticas, principalmente precipitação e armazenamento de água no solo (ARM) aliado à aplicação da Cadeia de Markov (ASSIS et al., 1989; SOUZA et al. 1992) e da distribuição de probabilidade geométrica (MEDHI, 1976). Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi determinar as probabilidades da seqüências de dias trabalháveis por decêndio durante o período de 1979 a 2008 por meio da Cadeia de Markov e da distribuição geométrica, visando ao planejamento das operações com máquinas agrícolas em diferentes períodos do ano na região de Piracicaba, SP.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram coletados e agrupados em períodos decendiais dados meteorológicos diários de 1978 a 2008 das seguintes variáveis: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) e chuva (mm), da Estação Meteorológica da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), a qual está localizada na cidade de Piracicaba, SP, Brasil (22°42’30”S; 47°38’O; 546 m). Foi calculado o balanço hídrico seqüencial em escala diária, de acordo com a metodologia descrita por THORNTHWAITE & MATHER (1955), utilizando-se como capacidade de água disponível (CAD) o valor de 100 mm. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada por meio do método de THORNTHWAITE com temperatura efetiva (CAMARGO, 1999). De acordo com ERTHAL & SENTELHAS (1995), foram adotadas duas condições para se considerar o dia como favorável ao tráfego de máquinas agrícolas: chuva < 5 mm e ARM entre 40 e 90% da CAD. De acordo com essas duas condições, foi programada uma planilha eletrônica a qual se baseou no método da Cadeia de Markov (de primeira ordem) para a determinação das probabilidades simples e condicionais visando à estimativa da ocorrência de dias considerados “favoráveis” (F) ou “não favoráveis” (NF) ao tráfego do maquinário destinado às diversas operações agrícolas:

a) Probabilidades simples:

$$P(NF) = \frac{NF}{Total_NF} \quad (1)$$

$$P(F) = \frac{F}{Total_F} \quad (2)$$

b) Probabilidades condicionais:

$$P(NF/NF) = n^{\circ}(NF / NF) / n^{\circ}(NF) \quad (3)$$

$$P(F/F) = n^{\circ}(F / F) / n^{\circ} F \quad (4)$$

$$P(F/NF) = 1 - P(NF / NF) \quad (5)$$

$$P(NF/F) = 1 - P(F / F) \quad (6)$$

em que: P(F) é a probabilidade de ocorrência de um dia ser favorável no decêndio considerado, em 30 anos; P(NF) a probabilidade de ocorrência um dia não ser favorável no decêndio considerado, em 30 anos; P(NF/NF) a probabilidade de ocorrência um dia não ser

favorável, dado que o anterior também não foi favorável; P(F/F) a probabilidade de ocorrência um dia ser favorável, dado que o anterior foi favorável; P(F/NF) a probabilidade de ocorrência um dia ser favorável, dado que o anterior não foi favorável; P(NF/F) a probabilidade de ocorrência um não dia ser favorável, dado que o anterior foi favorável. A fim de calcular a probabilidade teórica de ocorrência de dias favoráveis (F) consecutivos, utilizou-se, segundo MEDHI (1976), a função de distribuição de probabilidades “geométrica”, conforme apresentado a seguir:

$$P(F, F, F \dots n) = P(F) \times P(F / F)^{n-1} \quad (7)$$

em que: P(F) representa a probabilidade simples de ocorrer o evento; P(F/F) representa a probabilidade condicional; n representa o número de dias consecutivos favoráveis no decêndio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1 são apresentadas as probabilidades condicionais relativas aos dias favoráveis ao uso de máquinas no campo. Os valores de P(F) variaram entre 37% (primeiro decêndio de janeiro) e 84% (primeiro decêndio de julho), sendo que o valor médio para o período foi de 56%. Para a P(NF), os valores oscilaram entre 0,16 no primeiro decêndio de julho e 0,63 no primeiro decêndio de janeiro. No caso da P(NF/NF) os valores variaram de 0,13 a 0,53, enquanto que os valores de P(F/NF) variaram de 0,47 a 0,87, o de P(NF/F) de 0,19 a 0,71 e o de P(F/F) de 0,29 a 0,81.

Tabela 1. Probabilidades de ocorrência de dias favoráveis (F), não favoráveis (NF) e suas respectivas probabilidades condicionais em Piracicaba, SP (1979 – 2008).

Decêndios	P(F)	P(NF)	P(NF/NF)	P(F/NF)	P(NF/F)	P(F/F)
Jan_1	0,37	0,63	0,53	0,47	0,71	0,29
Jan_2	0,47	0,53	0,44	0,56	0,63	0,37
Jan_3	0,40	0,60	0,49	0,51	0,71	0,29
Fev_1	0,47	0,53	0,42	0,58	0,64	0,36
Fev_2	0,46	0,54	0,43	0,57	0,65	0,35
Fev_3	0,46	0,54	0,41	0,59	0,64	0,36
Mar_1	0,50	0,50	0,41	0,59	0,58	0,42
Mar_2	0,50	0,50	0,40	0,60	0,62	0,38
Mar_3	0,49	0,51	0,42	0,58	0,59	0,41
Abr_1	0,66	0,34	0,26	0,74	0,43	0,57
Abr_2	0,66	0,34	0,25	0,75	0,44	0,56
Abr_3	0,71	0,29	0,25	0,75	0,36	0,64
Mai_1	0,57	0,43	0,32	0,68	0,52	0,48
Mai_2	0,61	0,39	0,32	0,68	0,46	0,54
Mai_3	0,59	0,41	0,36	0,64	0,47	0,53
Jun_1	0,57	0,43	0,40	0,60	0,46	0,54
Jun_2	0,55	0,45	0,42	0,58	0,48	0,52
Jun_3	0,64	0,36	0,33	0,67	0,42	0,58
Jul_1	0,84	0,16	0,13	0,87	0,19	0,81
Jul_2	0,78	0,22	0,18	0,82	0,25	0,75
Jul_3	0,67	0,33	0,20	0,80	0,37	0,63
Ago_1	0,81	0,19	0,17	0,83	0,22	0,78
Ago_2	0,79	0,21	0,15	0,85	0,26	0,74
Ago_3	0,53	0,47	0,38	0,62	0,52	0,48
Set_1	0,47	0,53	0,48	0,52	0,60	0,40
Set_2	0,40	0,60	0,53	0,47	0,67	0,33
Set_3	0,58	0,42	0,39	0,61	0,47	0,53
Out_1	0,45	0,55	0,46	0,54	0,67	0,37
Out_2	0,50	0,50	0,39	0,61	0,60	0,40
Out_3	0,59	0,41	0,34	0,66	0,50	0,50
Nov_1	0,59	0,41	0,31	0,69	0,51	0,49
Nov_2	0,49	0,51	0,39	0,61	0,62	0,38
Nov_3	0,51	0,49	0,39	0,61	0,60	0,40
Dez_1	0,49	0,51	0,41	0,59	0,61	0,39
Dez_2	0,48	0,52	0,39	0,61	0,65	0,35
Dez_3	0,45	0,55	0,45	0,55	0,64	0,36

Com relação às seqüências de dias favoráveis dentro de cada decêndio, determinadas pela distribuição geométrica escolheram-se quatro meses característicos do ano, nos quais são realizadas diferentes operações com máquinas agrícolas na cultura da cana-de-açúcar. Observa-se que no mês de janeiro (Figura 1a) ocorre no máximo cerca de 45% de probabilidade de haver pelo menos um dia trabalhável. No caso das operações agrícolas que exijam, nesse mês, um maior número de dias favoráveis, a probabilidade de ocorrência é muito baixa, já que seqüências de 4 a 10 dias favoráveis apresentam probabilidades de ocorrência inferiores a 10%. No mês de abril (Figura 1b), a probabilidade de ocorrência de um dia trabalhável atinge cerca de 70%. Nesse mês, geralmente as usinas começam as operações de colheita, já que, de acordo com a Figura 2, há uma diminuição considerável no volume de chuvas. Dessa maneira, as probabilidades de dias consecutivos favoráveis ao tráfego de máquinas aumentam para, no mínimo, 20% dos dias desse mês. Em julho (Figura 1c), mês em que a colheita da cana-de-açúcar continua ocorrendo, já passa a ser o mês que tem menor volume de chuvas (Figura 2) e quando ocorrem as maiores probabilidades de seqüências de dias trabalháveis. Nesse mês, a probabilidade de se ter pelo menos um dia trabalhável é de aproximadamente 80% e o de se ter de 6 a 10 dias trabalháveis seguidos é da ordem de 40%. Por fim, no mês de outubro (Figura 1d), quando a safra está se encerrando, a quantidade de chuva aumenta consideravelmente (Figura 2) e a probabilidade de ocorrência de dias favoráveis não ultrapassa 60% para a seqüência de um dia de de 10 a 20% para as seqüências de 5 a 10 dias favoráveis.

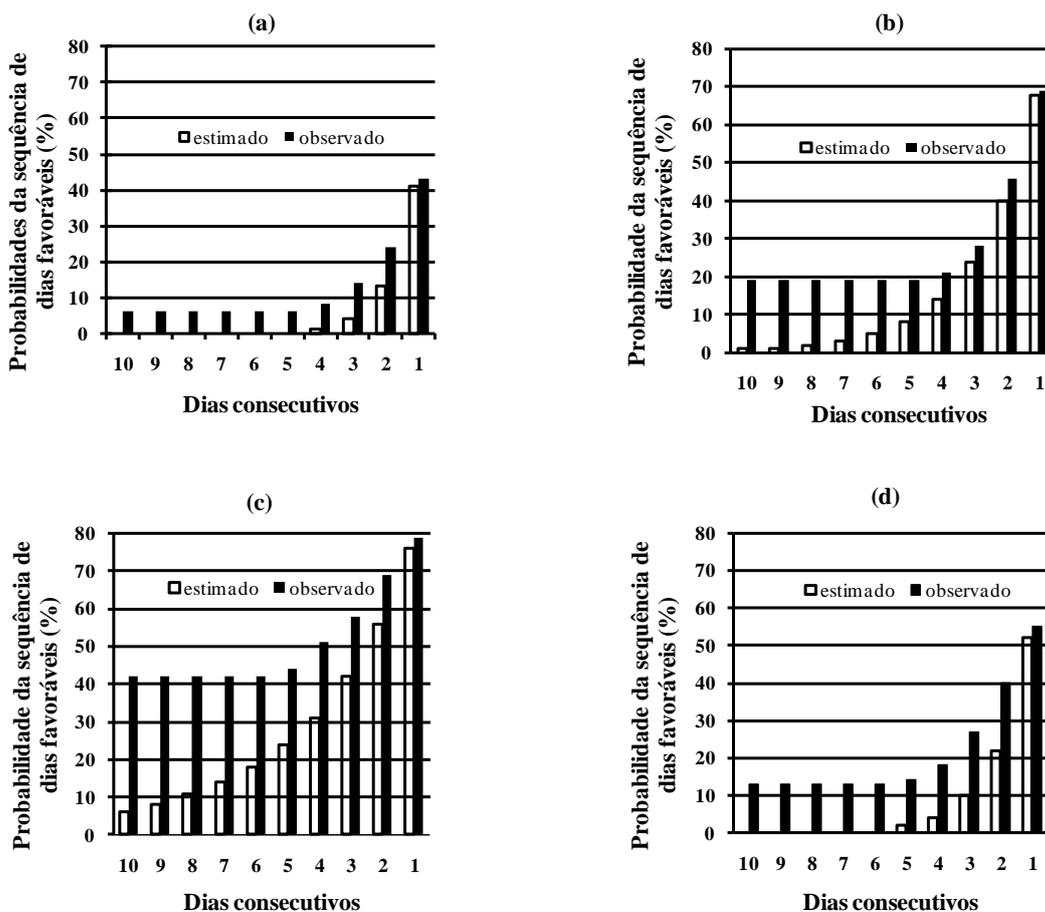


Figura 1. Sequência de dias trabalháveis e suas respectivas probabilidades de ocorrência médias decendiais nos meses de janeiro (a), abril (b) julho (c) e outubro (d).

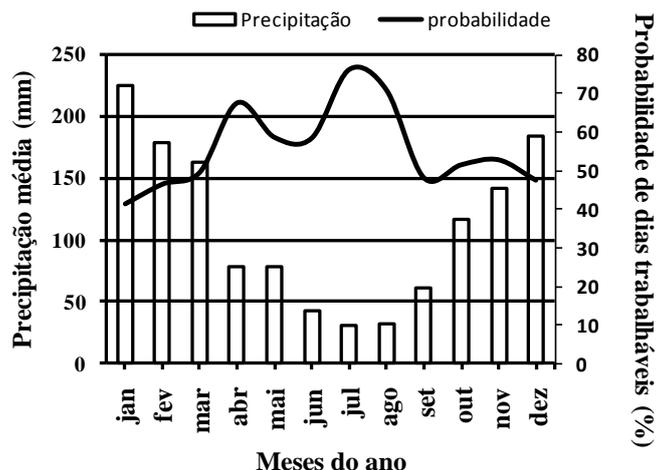


Figura 2. Precipitação média mensal e probabilidades médias de ocorrência de dias trabalháveis em Piracicaba (1979 – 2008).

CONCLUSÕES: Os modelos aplicados tanto para o cálculo das probabilidades simples, probabilidades condicionais e para a determinação das seqüências de dias trabalháveis representaram satisfatoriamente as épocas do ano mais apropriadas para as operações com máquinas agrícolas. A metodologia aplicada para a estimativa de seqüência de dias trabalháveis com máquinas agrícolas mostrou-se confiável para sistemas de dimensionamento e planejamento da frota de máquinas agrícolas. O mês de julho mostrou-se como o período do ano mais apropriado para operações que exigem maior número de dias favoráveis, ao passo que no mês de janeiro foi o que mostrou as menores probabilidades de seqüência de dias favoráveis ao tráfego de máquinas no campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, S. V.; SEDIYAMA, G. C.; VIANELLO, R. L.; MARTYN, P. J. Probabilidade de ocorrência de dias trabalháveis com tratores agrícolas em Uberaba, Minas Gerais, **Revista Ceres**, Brasil, 1989, v. 36(206), p. 299-316, jul-ago.
- BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=t&o=11>>, Acesso em: fev, 2011,
- CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P.C.; PICINI, A.G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 1999, v.7, n.2, p.251-257.
- ERTHAL, L. C.; SENTELHAS, P. C. Probabilidade da seqüência de dias secos em Campinas (SP) como subsídio ao planejamento do uso de máquinas agrícolas, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, 1995, Campina Grande, PB, **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, p. 409-411.
- MEDHI, J. A. Markov Chain Model for the occurrences of dry and wet days. **Indian Journal of Meteorology Hydrology and Geophysics**. 1976, v.27, n.4, p.431-435.
- SOUZA, A.; OLIVEIRA, C. R.; LAURETTO, M. Modelo para estimar o número de dias trabalháveis com tratores agrícolas, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, 1992, São Paulo, SP, **Anais eletrônicos...** São Paulo. Disponível em: http://www.cbmet.com/edicoes.php?pageNum_Recordset_busca=2&totalRows_Recordset_busca=168&cgid=19&imageField2,x=42&imageField2,y=6>, Acesso em: 25 mai, 2010.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, R.J. **The water balance**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955, 104 p. (Publications of Climatology, v.8, n.1).