

## DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE COLHEITA MECANIZADA UTILIZANDO DADOS GEO-REFERENCIADOS

J.P. MOLIN<sup>1</sup>, M. MILAN<sup>2</sup>, M. G. T. NESRALLAH<sup>3</sup>, C. N. CASTRO<sup>4</sup>, L.M. GIMENEZ<sup>5</sup>

### RESUMO

A eficiência de campo durante a operação de colheita é um importante parâmetro para determinar a capacidade de campo operacional, auxiliando na tomada de decisões a respeito do gerenciamento do sistema mecanizado. Foi realizado um estudo de tempos e movimentos com dados coletados com monitores para avaliar o desempenho de campo de colhedoras de grãos. De posse desses dados, inicialmente foram calculadas as diferenças de tempo entre diferentes posições no talhão durante a operação de colheita, sendo construído o respectivo mapa e a partir dele obteve-se os mapas de eficiência de campo, capacidade de campo efetiva e capacidade de processamento. Por último calculou-se as eficiências de campo, gerencial e global da operação. O objetivo do trabalho foi o de apresentar o modo de extrair essas informações do monitor de colheita e a importância e utilização que as mesmas podem adquirir em sistemas gerenciais do complexo mecanizado agrícola existente em qualquer propriedade, demonstrando a aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão, mecanização, gerenciamento.

### HARVESTING PARAMETERS ANALYSIS FORM GEORREFERENCED DATA

#### SUMMARY

Field efficiency during harvest operation is an important criterion for determining the expected field capacity and, consequently, assist on the process of decision making with regards to machinery management. A time-motion study with data gathered by yield monitors during harvest was used to evaluate the field performance of the combines. With these data initially it was obtained the time differences between successive samples in the field during harvest, the respective time differences map was generated and information of the field efficiency, expected field capacity and throughput capacity maps. Three different types of efficiencies were calculated for each field. The objective of this study was to introduce the manner in which extract these information from the yield monitor and show the importance and usefulness that they might gain in management systems of the agricultural machines in any farm.

**KEY-WORDS:** Precision agriculture, mechanization, management.

#### INTRODUÇÃO

As técnicas de agricultura de precisão se diferenciam dos conceitos tradicionais de agricultura pelo seu nível de gerenciamento e o monitor de produtividade é um, dentre os muitos recursos, utilizados pelos agricultores que adotam essas técnicas. O conhecimento adquirido com as informações fornecidas pela agricultura de precisão permitem aos produtores um melhor suporte na tomada de decisões resultando em potenciais benefícios ambientais, economia de insumos e lucros. Além disso podem ser extraídas outras informações do monitor de produtividade com utilidade no gerenciamento de operações agrícolas como a colheita.

Informações acerca da capacidade operacional são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas pela administração visando a

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Professor Doutor, ESALQ/USP, Piracicaba, SP. Fone 19 3429 4165, e-mail: jpmolin@esalq.usp.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Professor Doutor, ESALQ/USP, Piracicaba, SP. E-mail: marmilan@esalq.usp.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Trainee Ihara. E-mail: tomazela@ihara.com.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando, ESALQ/USP, Piracicaba, SP. E-mail: cncastro@esalq.usp.br

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Fundação ABC, Castro, PR. E-mail: mecaniza@fundacaoabc.com.br

otimização. A habilidade de uma máquina para desempenhar eficientemente sua função, trabalhando em um ambiente qualquer, é um critério importante que afeta decisões sobre o seu gerenciamento (TAYLOR et al., 2002).

MIALHE (1974), designa a capacidade operacional de máquinas e implementos agrícolas como a quantidade de trabalho que são capazes de executar na unidade de tempo, constituindo-se em uma medida da intensidade do trabalho desenvolvido na execução das operações. O autor salienta que o estudo das operações, visa racionalizar o emprego das máquinas, implementos e ferramentas na sua execução. Para isso, é necessário não apenas o estudo analítico, a fim de determinar “o que fazer” e “quando fazer”, mas também, a criteriosa seleção de métodos além a escolha de espécimes mais adequados a cada situação.

RENOLL (1981), citado por CRISLER et al. (2001), afirma que a informação de desempenho das colhedoras é muito importante, por se tratarem de máquinas cada vez maiores e mais onerosas tornando-se necessário que elas sejam efetivamente utilizadas. Assim, um método preciso de calcular o desempenho da colhedora auxilia os produtores a selecionar corretamente a sua capacidade como o equipamento requerido para o transporte da cultura.

Segundo STRICKLAND al. (2001), no passado os estudos de desempenho de máquinas a campo era realizado através de cronômetros, pranchetas e mecanismos de gravação. Estes métodos consumiam muito tempo e necessitavam de uma pessoa ou uma equipe de campo para apontamentos.

O advento dos monitores de colheita para fins de obtenção de mapas de produtividade, tornou a coleta de dados mais simples. Tal método utiliza um receptor de sinais do sistema de posicionamento global (GPS – Global Positioning System) conectado a um monitor de produtividade instalado na colhedora que mede a produtividade na área de forma georreferenciada (GRISSE et al., 2002). Na opinião de GRISSE et al. (2000), os dados georreferenciados, podem também ter um papel importante na operação e gerenciamento de máquinas agrícolas. Os dados adquiridos durante a colheita fornecem informações relativas a características operacionais da colhedora como velocidade, percursos realizados, produtividade e tempo de descarga, bem como influências do relevo e características do operador sobre a capacidade de campo da colhedora.

Tendo em vista as possibilidades de aplicação dos monitores de colheita no estudo de operações agrícolas o objetivo do presente trabalho é o de desenvolver uma metodologia para a determinação do desempenho operacional espacializado de colhedoras de cereais, com base nas informações geradas através de monitores de produtividade, e demonstrando a aplicação da metodologia aos conceitos de eficiência apresentados na bibliografia.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Utilizou-se de arquivos de produtividade obtidos em talhões de propriedades pertencentes a oito produtores rurais distribuídos entre os municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa, localizados no estado do Paraná, com culturas de milho e soja. Dos arquivos, três foram gerados com o monitor de produtividade Fieldstar instalado em colhedora marca AGCO®, modelo MF 34 e cinco com o monitor New Holland (AG Leader®) em colhedora CNH®, modelo TC 57. As informações sobre as oito áreas são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Área avaliada, colhedora utilizada e cultura presente nos oito talhões aonde foram coletados os dados durante na safra agrícola do ano de 2002.

Talhão	Área (ha)	Colhedora Marca/ Modelo	Cultura
1	24,5	CNH TC 57	Milho
2	22,8	CNH TC 57	Milho
3	16,6	CNH TC 57	Soja
4	17,9	CNH TC 57	Soja
5	29,3	CNH TC 57	Soja
6	19,2	AGCO MF 34	Soja
7	33,0	AGCO MF 34	Milho
8	26,2	AGCO MF 34	Milho

Para o tratamento dos dados utilizou-se o SIG (Sistemas de Informação Geográfica) SSToolbox (SST Development Group®), planilha de cálculo do Excel (Microsoft®) e algoritmo para a transformação das coordenadas geodésicas em coordenadas UTM. No monitor Fieldstar o tempo é armazenado no formato de horário UTC (Universal Time Coordinated), em horas, minutos e segundos de acordo com Greenwich e o monitor New Holland (AG Leader®) utiliza o tempo na forma cumulativa em segundos, sendo o valor total zerado no último dia do ano. Devido a essa diferença, inicialmente os dados de campo foram tratados em função do monitor que os gerou, para a eliminação dos erros de arquivos. Para isso utilizou-se a metodologia proposta por GIMENEZ & MOLIN (2000) realizando-se a transformação das coordenadas geodésicas em coordenadas UTM e calculando-se a distância entre os pontos, utilizando-se o teorema de Pitágoras.

A partir da informação da diferença de tempo foi possível calcular a velocidade de deslocamento entre os pontos utilizando a fórmula:

$$V = \frac{L}{T} \quad (1)$$

em que:

V - velocidade de deslocamento, m/s;

L - distância percorrida entre dois pontos, m;

T - diferença de tempo entre os pontos, s.

A etapa seguinte consistiu na determinação do desempenho das máquinas com base nos dados de tempos e distâncias obtidos. Os monitores foram ajustados para a coleta de dados no intervalo de 3 s, sendo definidas, tentativamente, as seguintes classes de tempo para a análise: Tcol - refere-se ao tempo produtivo da máquina realizando a colheita e correspondente ao intervalo de 2 a 6 s; Tm - tempos de manobra, no intervalo de 7 a 80 s; Td - tempos de descarga, de 81 a 420 s; Tp - tempos problema, os tempos maiores que 420 s, que são aqueles não ligados diretamente à operação.

Após determinadas as classes de diferenças de tempo calculou-se a eficiência de tempo da operação de colheita (Ef), que é a razão entre o tempo efetivo no qual a máquina está realizando a operação ao tempo total no qual a máquina dedica para realização da mesma (HUNT, 1995):

$$Ef = \frac{Tcol}{Tcol + Tm + Td} \quad (2)$$

em que:

Ef – Eficiência, %;

Tcol - tempo produtivo da máquina realizando a colheita, s;

Tm - tempos de manobra, s;

Td - tempos de descarga, s;

$T_p$  – tempo problema, s.

As capacidades de campo e de produção efetiva foram calculadas com base nos conceitos definidos por MIALHE (1974):

$$CcE = \frac{AT}{T_{col}} \quad (3)$$

em que:

CcE – capacidade de campo efetiva, ha/h;

AT – área trabalhada, em ha.

$$CP = \frac{QC}{T_{col}} \quad (4)$$

em que:

CP - capacidade de processamento, kg/ha;

QC – quantidade colhida.

Com o intuito de se avaliar a eficiência da operação de colheita realizada nas áreas a partir dos tempos da operação de colheita fornecidos pelos monitores das colhedoras, calculou-se os valores de três formas de eficiência da operação, sendo elas as eficiências de campo (EC), gerencial (EG) e global (EGL) utilizando-se, respectivamente, as equações (5), (6) e (7) propostas por GAGO (1986):

$$EC = \frac{T_{col}}{T_{col} + T_m + T_d} \quad (5)$$

em que:

EC – eficiência de campo, %.

$$EG = \frac{T_{col} + T_m + T_d}{T_{col} + T_m + T_d + T_p} \quad (6)$$

em que:

EG – eficiência gerencial, %.

$$EGL = \frac{T_{col}}{T_{col} + T_m + T_d + T_p} \quad (7)$$

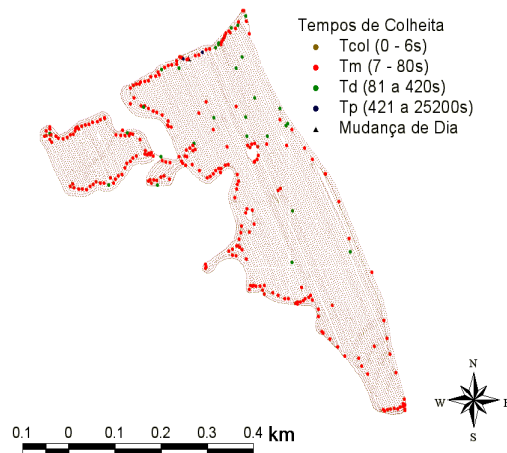
em que:

EGL – eficiência global, %.

A EC indica o quão eficiente é o sistema no que diz respeito à influência dos tempos de manobra e descarregamento. A EG indica a influência dos tempos parados sobre a operação. A EGL indica o quanto do tempo total de campo disponível realmente está sendo utilizado para a colheita.

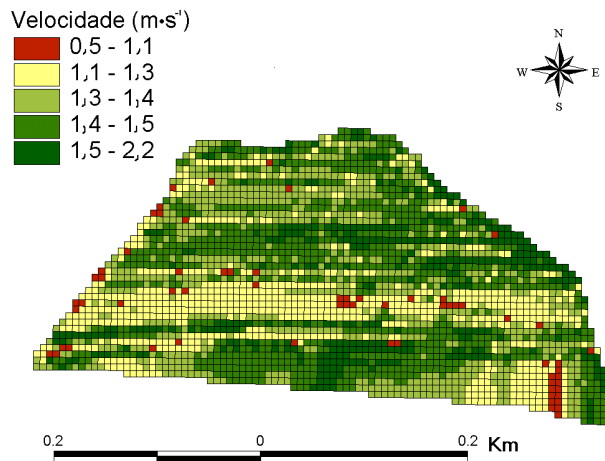
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros resultados obtidos foram os mapas de diferença de tempo. Esses mapas mostram o local e as perdas de tempo ocorridas durante a colheita na área, sejam por tempos de manobras de cabeceiras, tempos de descarregamento, paradas devido a embuchamentos da máquina, reparos rápidos, refeição, entre outras ocorrências mais esporádicas relacionadas ao operador ou à máquina. Como exemplo na Figura 1 é apresentado um dos mapas com as classes de diferenças de tempos, obtido no talhão 8.



**FIGURA 1** - Classes de diferenças de tempos na operação de colheita, estabelecidos para esse estudo.

Na Figura 2 é apresentado o mapa com as diferentes velocidades de operação da colhedora durante a colheita no talhão 1, calculadas utilizando a equação (1). A investigação das causas que influenciaram na variação espacial das velocidades de operação da colhedora pode resultar na descoberta de fatores que influenciaram, pontualmente no talhão, o desempenho da colhedora e da colheita como um todo, permitindo em determinados casos a adoção de medidas visando melhorar o desempenho global da operação.



**FIGURA 2** – Mapa com a velocidade da operação de colheita em  $m*s^{-1}$  para o talhão 1.

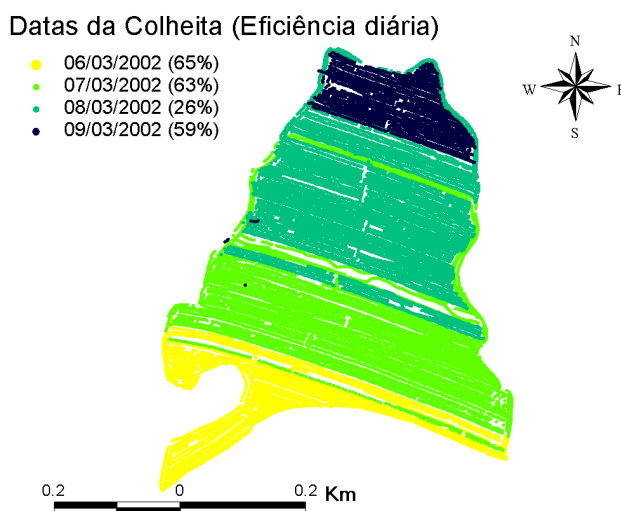
A partir dos tempos de colheita, fornecidos pelo arquivo do monitor da colhedora, realizou-se o somatório dos tempos totais de cada classe de diferença de tempos. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

**TABELA 2-** Tempos totais durante a operação de colheita para as diferentes classes de diferença de tempos para as áreas monitoradas no estudo.

Talhão	Tempos da operação (h)				
	Total	Colheita	Manobra	Descarga	Problema
1	24,5	14,0	2,0	2,1	6,4
2	29,3	15,7	3,6	4,8	5,2
3	15,2	10,4	1,7	1,2	1,9
4	16,5	10,6	1,4	0,6	3,9
5	18,6	13,8	1,0	1,6	2,2
6	10,5	6,2	1,7	1,4	1,2
7	18,4	12,3	1,1	2,4	2,6
8	18,3	12,0	1,2	3,7	1,4

Os dados dos diferentes intervalos de tempos decorridos durante a operação de colheita, conforme apresentados na tabela 2, foram utilizados para se realizar o cálculo da eficiência de campo da operação de colheita pela equação (2). Os resultados da eficiência de colheita assim calculada foram posteriormente assinalados em formato gráfico, permitindo a visualização espacializada da eficiência em cada talhão para cada dia de operação de colheita. Na Figura 3 é apresentado o mapa de eficiência de colheita diária do talhão 2, e os valores de eficiência para cada dia de trabalho.

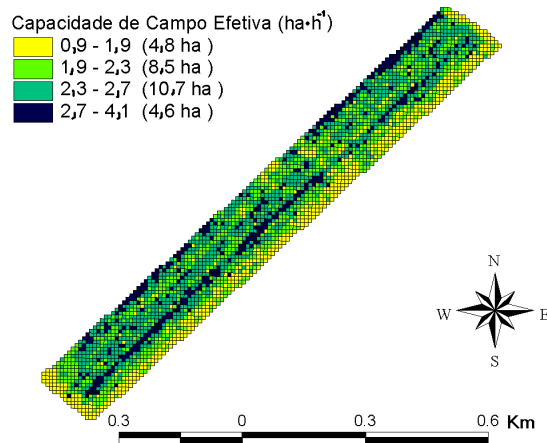
Mapas com a eficiência localizada da operação de colheita em uma área, como mostrados na Figura 3, contêm informações importantes que podem auxiliar na gerência do sistema mecanizado de uma propriedade durante essa operação. Como, por exemplo, investigar o porque das diferenças na eficiência de colheita nos diferentes dias, ou nas diferentes posições ao redor da área, e a partir da identificação dos motivos, atuar na sua correção visando a otimização da colheita. No caso do talhão apresentado na Figura 3, a eficiência de colheita variou de 26% no dia 08/03/2002 até aproximadamente 65% no dia 06/03/2002. Essa simples constatação permite a percepção da importância de se investigar as causas de tal variação, atuando nas mesmas visando o aumento da eficiência ou da qualidade e a diminuição do custo da operação.



**FIGURA 3** – Mapa das datas e eficiências diárias de colheita para o talhão 2.

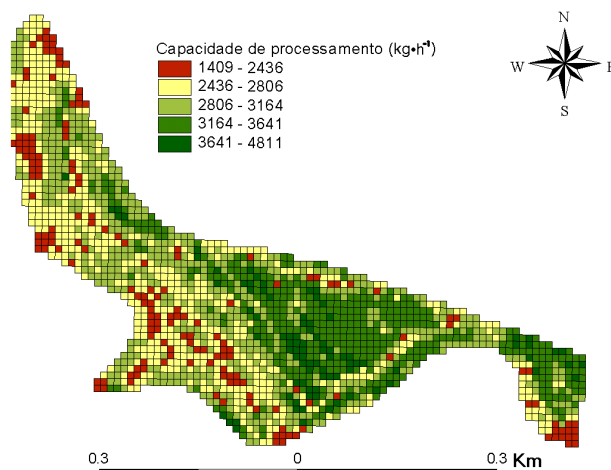
Outra informação valiosa no gerenciamento de uma operação de colheita é a capacidade de campo efetiva demonstrada pela colhedora. Com os dados contidos no arquivo do monitor de colheita e utilizando a equação (3) foi possível calcular a Capacidade de Campo Efetiva (CcE). Ao contrário dos valores de eficiência a CcE foi calculada de forma localizada e não agrupada por dia da operação. Através dos mesmos recursos utilizados na construção dos mapas das eficiências de colheita diárias para cada

talhão, construiu-se os mapas da CcE localizada. A Figura 4 apresenta o exemplo de um desses mapas para o talhão 8.



**FIGURA 4** – Mapa da capacidade de campo efetiva (CcE) localizada da operação de colheita no talhão 8.

Assim como a CcE é um parâmetro importante na avaliação da maioria das operações mecanizadas agrícolas, especificamente para a operação de colheita, um segundo parâmetro muito importante é a Capacidade de Processamento (CP). Conforme WITNEY (1988) “a capacidade de processamento em toneladas por horas (ou outra forma equivalente), é no geral um melhor indicador do desempenho de uma colhedora pois está relacionado com a variabilidade na produtividade da cultura. No entanto, só leva em consideração o desempenho em processar a porção comercializável da mesma”. Para o cálculo da capacidade de processamento foi utilizada a equação (4) e sua visualização espacializada foi realizada da mesma forma que para a eficiência e para a CcE. A Figura 5 apresenta o mapa da CP para o talhão de número 6, cultivado com soja.



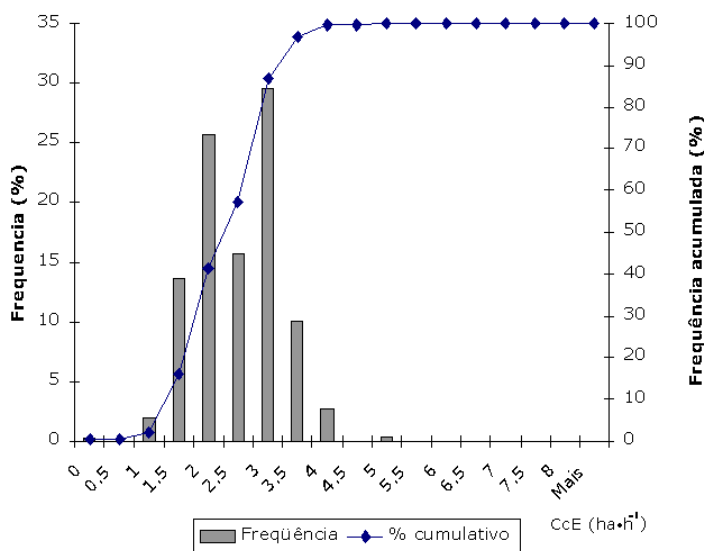
**FIGURA 5** – Mapa da capacidade de processamento (CP) localizado da operação de colheita no talhão 6.

Como os dados de diferenças de tempos durante a operação de colheita são apresentados de forma localizada nos talhões, isso traz o benefício das informações que esses mapas, conjugado com

outras séries de dados de fatores correlacionados que influenciaram os parâmetros de desempenho das colhedoras (produtividade, presença de manchas de plantas daninhas, topografia, formato do talhão, tamanho do talhão...) podem trazer no gerenciamento dos sistemas mecanizados de colheita, permitindo a geração de informação espacializada no talhão sobre desempenho da operação.

Além disso, a forma de determinação de parâmetros de desempenho utilizando dados georeferenciados provenientes do monitor de colheita pode ser estendida a outras operações agrícolas como a semeadura ou aplicação de defensivos, bastando para isso dispor de um coletor de dados conectado a um receptor de GPS, capaz de armazenar a posição geográfica e o respectivo horário. O trabalho de GRISSE et al. (2001) contempla essa idéia aplicada à operação de semeadura.

A forma de captar e descrever esses conjuntos de dados espacializados, do desempenho de máquinas agrícolas, objetivando a organização dos mesmos e extração de informações úteis voltadas ao gerenciamento de um sistema, pode incorporar elementos da estatística descritiva ou da geoestatística, que trata da descrição de conjuntos de dados que apresentam dependência espacial. Como exemplo apresentado na Figura 6 utilizou-se um histograma para descrever a distribuição de frequências da CcE do talhão 8 que é apresentada espacializada no mapa da Figura 4.



**FIGURA 6** – Distribuição de frequências da CcE no talhão 8 .

O histograma apresentado na Figura 6 mostra a existência de dois picos na distribuição dos valores da CcE, o que indica não ser uma distribuição normal e sim distribuição bi-modal, com a grande concentração em torno de dois valores. Entre outros fatores, a possibilidade da existência de duas populações distintas no conjunto de dados, devendo ambas serem analisadas em separado, pode ser uma explicação. Analisando o mapa da Figura 4, do mesmo talhão de onde foram extraídos os dados da Figura 6, observa-se, na parte superior do talhão, uma nítida tendência de concentração de valores elevados de CcE adjacente a uma também nítida concentração de baixos valores de CcE. Essas observações podem ser uma explicação para a existência de dois picos de valores de CcE no talhão, indicando a existência de duas regiões distintas no que se refere a esse parâmetro. A próxima etapa na análise desse conjunto de dados seria a análise em separado de ambas, buscando-se identificar as causas.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das três eficiências para os oito talhões avaliados nesse estudo, sendo apresentados também os valores médios da capacidade de campo efetiva e da capacidade de processamento.



**TABELA 3** – Eficiência de campo (EC), eficiência gerencial (EG), eficiência global (EFGL), média da capacidade de campo efetiva (CcE) e média da capacidade de processamento (CP) para a operação de colheita dos oito talhões experimentais.

Área	Cultura	EC (%)	EG (%)	EFGL (%)	CcE (ha* <sup>h</sup> <sub>1</sub> )	CP (t* <sup>h</sup> <sup>-1</sup> )
1	Milho	77	73	52	1,5	17,0
2	Milho	65	82	53	1,4	17,0
3	Soja	78	87	68	1,9	4,5
4	Soja	83	76	64	1,7	6,5
5	Soja	84	88	74	2,1	5,0
6	Soja	66	89	59	2,7	9,2
7	Milho	78	86	67	1,4	28,2
8	Milho	71	92	65	2,2	17,7

Com os valores das três eficiências para os oito talhões observa-se que nas três categorias ocorre uma variação máxima de 19% entre os diferentes talhões. Entre os inúmeros fatores que poderiam causar essa variação, um dos mais evidentes poderia ser a influência da produtividade e da sua variabilidade espacial para as culturas sendo colhidas. Além disso, o formato dos talhões, as variações topográficas e vários outros fatores podem afetar o desempenho e a eficiência da operação. No entanto, agrupando os valores das eficiências em dois grupos distintos, um onde a cultura colhida foi soja e no outro milho, e realizando-se uma análise de variância, nenhuma diferença foi encontrada para nenhuma das três categorias de eficiência para uma significância de 5%.

## CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida resultou na geração de um conjunto de informações valiosas voltadas para o gerenciamento do sistema de colheita de uma propriedade. Parâmetros de desempenho da colheita, como capacidade de campo efetiva, capacidade de processamento e eficiência da operação puderam ser coletadas numa amostragem densa e representativa de todo o talhão, com o benefício dessa informação ser fornecida sem custo e tempo de coleta de dados adicionais para os produtores que já dispõem dos monitores de produtividade. Novos estudos podem auxiliar a explicar as variações localizadas dos parâmetros da colheita dentro de um talhão, além do que a mesma metodologia pode ser utilizada com equipamentos similares aos dessa pesquisa em estudos de tempos e movimentos de outras operações agrícolas que não a colheita.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GAGO, J. S. N. Corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar: comparação de sistemas alternativos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4, 1988. Anais...Piracicaba: COPERSUCAR, 1986. P. 431-492.
- GRISSE, R. D.; JASA, P. J.; ROLOFSON, D. Field efficiency determination from spatial data. ASAE Annual International Meeting, Milwaukee, 2000.
- GRISSE, R. D.; JASA, P. J.; ROLOFSON, D. Analysis of traffic patterns and yield monitor data for field efficiency determination. Applied Engineering in Agriculture, v. 18, n. 2, p. 171-178. 2002.
- HUNT, D. Farm power and machinery management. Ames: Iowa State University Press, 1995. 292 p.
- MIALHE, L. G. Manual de Mecanização Agrícola. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1974. 301 p.
- MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M. Desenvolvimento de um algoritmo para redução de erros em mapas de rendimento obtidos em agricultura de precisão (compact disc). In: Congresso e Mostra de Agroinformática, 1., Ponta Grossa, 2000. Infoagro 2000. Ponta Grossa, 2000.
- STRICKLAND, R. M.; ESS, D. R.; PARSONS, S. D.; CRISLER, M. T. Extracting machine performance information from site-specific grain yield data to enhance crop production management practices. Net, Jul. 2001. 3 p. 2001. Disponível no site: <http://mollisol.agry.purdue.edu/ssmc/newsletters/july2001f.htm>. Acesso em: 15 abr. de 2002.
- TAYLOR, R. K.; SCHROCK, M. D.; STAGGENBORG, S. A. Extracting machinery management information from GPS data. ASAE Annual Meeting, Chicago, 2002.
- WITNEY, B. Choosing and using farm machines. Essex: Longman Scientific & Technical, 1988. 412 p.