

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA  
COLHEITA MECANIZADA EM LAVOURAS DE  
ARROZ IRRIGADO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Pietro Furian Araldi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

# **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA COLHEITA MECANIZADA EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO**

**Pietro Furian Araldi**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. José Fernando Schlosser, Dr. Eng.**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA OPERAÇÃO DE  
COLHEITA MECANIZADA EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO**

Elaborada por  
**Pietro Furian Araldi**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. José Fernando Schlosser – UFSM**  
(Presidente/Orientador)

**Carlos Ricardo Trein, Dr. (UFRGS)**

**Arno Udo Dallmeyer, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 31 de Março de 2011.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela vida, saúde, determinação, superação e fé.

À **Universidade Federal de Santa Maria**, instituição pela qual sou formado, e grato pela oportunidade de cursar o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Curso de **Pós Graduação em Engenharia Agrícola** pelo apoio no meu aperfeiçoamento profissional.

Ao **Professor Dr. José Fernando Schlosser**, pela oportunidade, por sua orientação, amizade, confiança e compreensão.

Aos colegas do Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas, pela contribuição e espírito de grupo demonstrado durante o tempo em que convivemos juntos neste e outros trabalhos.

A todos os trabalhadores rurais, que dispuseram sua atenção e um pouco do tempo para fornecer informações importantes para o presente trabalho, agradeço.

A todos meus amigos, que me apoiaram.

A toda a minha família, que sempre me apoiou.

A todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram com este Trabalho.

O autor

**“Intenções – ações = nada.”**

**James Hunter**

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA OPERAÇÃO DE COLHEITA MECANIZADA EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO**

Autor: Pietro Furian Araldi  
Orientador: Dr. José Fernando Schlosser  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 31 de Março de 2011.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da operação de colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado, localizadas na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Como objetivos específicos, o trabalho buscou determinar e avaliar as eficiências de campo, de tempo, de trajeto e da barra de corte; verificar se existe diferença entre as duas modalidades de sistematização para as variáveis estudadas; comparar a eficiência de campo encontrada com a estabelecida pela ASAE D497.4 (2009b); Avaliar influência da geometria das lavouras sistematizadas com nivelamento da superfície do solo em nível sobre a eficiência de campo; elencar as variáveis que possuem maior correlação com a redução e o aumento das eficiências e indicar medidas que possam otimizar as eficiências avaliadas. Na safra 2008/2009, foram avaliadas 19 operações, divididas em 6 propriedades, A, B, C, D, E, e F sendo que 15 lavouras eram sistematizadas com nivelamento da superfície do solo em nível e 4 sistematizadas com nivelamento da superfície do solo em desnível. Os dados das operações foram coletados de forma manual, através do uso de caderneta de campo e cronômetro, e com um receptor de sinal de GPS (*Global Positioning System*), marca *Garmin®*, modelo *GPSMAP® 60CSX*. Para auxiliar na análise e calcular as eficiências, foram determinadas as seguintes variáveis: área e relação comprimento/largura (*FW*) das lavouras, deslocamento médio, distância percorrida/maneira (*DP/M*) e tempos envolvidos na operação. A eficiência de campo foi calculada através da metodologia utilizada por Grisso et al. (2002), e encontrou-se um valor médio de 65,2%, localizado dentro da variação proposta pela ASABE D497.4 (2009b), a eficiência de tempo foi determinada com base no conceito de Hunt (2001), determinou-se um valor médio de 75,7%, para a eficiência de trajeto, seguiu-se a metodologia de Perin (2008) e observou-se um valor médio de 72,0% e para o cálculo da eficiência da barra, realizado pela equação proposta por Taylor et al. (2001), encontrou-se valor médio de 86,5%. Não houve diferença significativa, em nível de 5% de probabilidade de erro, entre as duas modalidades de sistematização. Os tempos gastos em manobras e descargas foram os fatores que mais influenciaram na eficiência de campo e de tempo. As eficiências de trajeto e da barra de corte tiveram alta correlação entre elas e com as variáveis relação comprimento/largura da lavoura e relação distância percorrida/maneira. Realizar as descargas com a colhedora em operação e evitar efetuar manobras nos vértices das lavouras, mesmo que se perca em eficiência da barra de corte, podem otimizar a eficiência de campo.

**Palavras-chave:** Arroz Irrigado. Colheita Mecanizada. Eficiência.

## **ABSTRACT**

Master Thesis  
Post-graduate Program in Agricultural Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### **EVALUATION OF OPERATING EFFICIENCIES IN HARVESTING RICE FIELDS**

Author: Pietro Furian Araldi  
Advisor: Dr. José Fernando Schlosser  
Santa Maria, March 31, 2011.

The objective of this thesis was evaluate the efficiencies of the harvesting operation in rice fields, located in the region of Depressão Central do Rio Grande do Sul. As specific objectives, this study sought to determine and evaluate the following efficiencies: field, time, field pattern and cutter bar; to verify if there is difference between the areas with land level and without it; compare the field efficiency found on this study with the efficiency established by ASAE D497 4 (2009b); To evaluate the influence of the geometry of land leveling fields on field efficiency; listing the variables that have more correlation with the reduction of the efficiencies and indicate actions that may will optimize the efficiencies evaluated. In the summer of 2008/2009, 19 operations were evaluated, shared in six farms, A, B, C, D, E and F, being fifteen fields of them with land level and four without land level. The operation data were collected manually, through the use of stopwatch, a clip board to record observations and with a signal receiver of GPS (Global Positioning System), Garmin® brand, model GPSMAP® 60CSX. For helping to analyze and calculate the efficiencies, the following variables were determined: area and ratio length/width of the fields, average harvest speed, ratio distance/turning and time spent in the operation. The field efficiency was calculated through the methodology used by Grisso et. al. (2002), and have been found the average of 65,2%, that being within the variation proposed by ASABE D497.4 (2009b), the time efficiency was determinate based on the concept of Hunt (2001), have been determined a average of 75,7%, to field pattern efficiency, had been used the methodology of Perin (2008) and was observed a average of 72,0% and for calculate the cutter bar efficiency was used the equation proposed by Taylor et. al. (2001), and have been found the average of 86,5%. There was no significant difference, at 5% probability of error, between the two methods studied in this thesis (with land level or without it). The time spent in maneuvers and unloading were the most important factors that influenced the field and time efficiencies. The efficiencies of field pattern and the cutter bar had a high correlation between themselves and the variables ratio of length/width of the field and distance/turning. Making unloading with the combine in operation and if possible avoid turning in the corners of the fields, even if this make to loose in efficiency in the cutting bar, can increase the field efficiency.

**Key words:** Rice Field. Efficiency. Harvesting.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo das operações mecanizadas na produção de arroz irrigado em quatro municípios do RS, safra 2009/2010. ....	24
Tabela 2 – Municípios onde estão localizadas as propriedades. ....	33
Tabela 3 – Divisão das propriedades conforme a modalidade de sistematização, número de lavouras e dia do início da colheita. ....	33
Tabela 4 – Informações das colhedoras automotrizes que realizaram as operações de colheita em cada propriedade. ....	34
Tabela 5 – Eficiência de campo (e%), eficiência de colheita (EC%), eficiência de trajeto (ET%), eficiência da barra de corte (Ebc%) e as respectivas variáveis que foram calculados o coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ). ....	52
Tabela 6 – Eficiência de campo (e%), eficiência de tempo (Et%), eficiência de trajeto (ET%) e as variáveis tempo de manobras sem a propriedade E (TM% E) e tempo de descargas sem a propriedade C (TDC% C) que foram calculado o coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ). ....	52
Tabela 7 – Valores das áreas das glebas (ha), relação distância percorrida/manobra (DP/M) e relação F/W das glebas com sistematização em nível. ....	56
Tabela 8 – Deslocamento médio ( $\text{km.h}^{-1}$ ) para cada operação, propriedade, modalidade de sistematização e geral. ....	61
Tabela 9 – Menores e maiores relações comprimento/largura (F/W) e distância percorrida/manobra encontradas. ....	62
Tabela 10 – Médias das eficiências encontradas, eficiência de campo (e%), eficiência de campo sem os tempos de descargas e problemas (ec%), eficiência de tempo (Et%), eficiência de tempo sem os tempos de descargas e problemas (ec%), eficiência de trajeto (ET%) e eficiência da barra de corte (Ebc%), para as duas modalidades de sistematização e geral. ....	62
Tabela 11 – Distribuição dos tempos encontrados em cada operação conforme a modalidade de sistematização e as propriedades. ....	63
Tabela 12 – Coeficientes de correlação entre a eficiência de tempo e o tempo de manobras (TM%), tempo de manobras sem a propriedade E (TM%E) e tempo de descarga (TDC%). ....	66

Tabela 13 – Valores de eficiência de campo (e%), tempo de manobras (TM%), tempo de deslocamentos (TDL%), tempo de descargas (TDC%), tempo problemas (TP%), eficiência de trajeto (ET%), eficiência da barra de corte (Ebc%), distância percorrida/manobra (DP/M), relação comprimento/largura (F/W) e suas respectivas médias para todas as lavouras avaliadas. ....	70
Tabela 14 – Comparativo entre os valores de eficiência de campo (e%) encontrados, os citados por Taylor et al. (2002) e Grisso et al. (2002,2004), e os números estabelecidos pela ASAE D497.4 JUN2009.....	71
Tabela 15 – Coeficiente de correlação encontrado entre a eficiência de campo e as variáveis Ebc%,Et%, ET%, TM%, TDL%, TDC%, TP%, DM e F/W.....	72
Tabela 16 – Aumento da eficiência de campo (e%) devido aos tempos de descargas e problemas.....	75
Tabela 17 – Coeficientes de correlação de Pearson encontrados entre as eficiências de trajeto e barra de corte e as variáveis eficiência de campo (e%), tempo total de deslocamentos (TDL%), deslocamento médio (DM), relação distância percorrida por manobra (DP/M), relação distância percorrida por manobra (DP/M E) sem os dados da propriedade E e relação comprimento/largura das lavouras (F/W). ....	77
Tabela 18 – Eficiências encontradas para cada operação, eficiência de campo (e%), eficiência de campo sem os tempos de descargas e problemas (ec%) eficiência de tempo (Et%), eficiência de trajeto (ET%) e eficiência da barra de corte (Ebc%).....	78

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de uma sistematização em desnível. ....	20
Figura 2 – Exemplo de uma sistematização em nível. ....	21
Figura 3 – Exemplos de lavouras sistematizadas em desnível (SD) e em nível (SN). ....	21
Figura 4 – Desenho esquemático de uma colhedora automotriz. ....	23
Figura 5 – Localização das propriedades. ....	32
Figura 6 – Receptor de sinal de GPS utilizado na coleta dos dados. ....	35
Figura 7 – Detalhe da fixação do receptor de sinal de GPS na colhedora. ....	36
Figura 8 – Exemplo da tabela do software GPS Trackmaker com os dados adquiridos. ....	36
Figura 9 – Exemplo de um mapa digital de uma lavoura. ....	39
Figura 10 – Exemplo de como foi calculada a distância percorrida. ....	41
Figura 11 – Representação de uma manobra e um deslocamento realizado em uma operação. ....	45
Figura 12 – Geometria e área de todas as lavouras sistematizadas em nível (SN) avaliadas. ....	57
Figura 13 – Geometria e área de todas as lavouras sistematizadas em desnível (SD) avaliadas. ....	58
Figura 14 – Geometria da gleba com menor relação F/W encontrada. ....	59
Figura 15 – Geometria da gleba com maior relação F/W encontrada. ....	60
Figura 16 – Variação curva de eficiência de trajeto (ET%) para diferentes relações comprimento/largura (F/W) de um talhão. ....	60
Figura 17 – Distribuição média entre tempo aproveitável e não aproveitável nas operações. ....	64
Figura 18 – Porcentagem dos tempos das manobras, descargas, deslocamentos e problemas em relação ao tempo total não aproveitável. ....	65
Figura 19 – Distribuição dos tempos não aproveitáveis em relação ao tempo total de operação e a porcentagem de tempo que a colhedora automotriz efetivamente trabalhou. ....	65
Figura 20 – Detalhe da trajetória executada pelo operador em um dos vértices da lavoura. ....	67

Figura 21 – Tendência do tempo de manobras (TM%) e do tempo de descargas (TDC%) em relação a eficiência de tempo (Et%).	68
Figura 22 – Distribuição da frequência da eficiência de campo operacional encontrada.	71
Figura 23 – Tendência das eficiências de trajeto (ET%) e da barra de corte (Ebc%) em relação à eficiência de campo (e%).	72
Figura 24 – Tendência do deslocamento médio (DM), em $\text{km.h}^{-1}$ , em relação à eficiência de campo (e%).	73
Figura 25 – Tendência dos tempos totais não aproveitáveis de manobras, sem os tempos da propriedade E (TM%E), de descargas, sem os tempos da propriedade C que não tiveram descargas (TDC%C), e os tempos de deslocamentos em relação a eficiência de campo (e%).	74
Figura 26 – Aumento da eficiência de campo caso as operações estudadas não tivessem os tempos de descargas e problemas.	75
Figura 27 – Padrão de trajeto utilizado por todos os operadores, sendo o número 1, o trajeto de uma operação na propriedade E, e o número 2, trajeto de uma operação na propriedade A.	76
Figura 28 – Tendência da variação da eficiência de trajeto (ET%) em relação à eficiência da barra de corte (Ebc%) e vice-versa.	79

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASABE – American Society of Agricultural and Biological Engineers

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DM – Deslocamento médio ( $\text{km.h}^{-1}$ )

DP/M – Relação distância percorrida/manobra (m)

DP/M **E** – Relação distância percorrida por manobra sem os valores da propriedade **E**

e – Eficiência de campo (%)

ec – Eficiência de campo sem os tempos de descargas e problemas (%)

Ebc – Eficiência da barra de corte (%)

Et – Eficiência de tempo (%)

Etc – Eficiência de tempo sem os tempos de descargas e problemas (%)

ET% – Eficiência de trajeto (%)

FAO – Food and Agriculture Organization

F/W – Relação comprimento/largura

GPS – Global Positioning System

IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz

RS – Rio Grande do Sul

SD – Sistematização com nivelamento da superfície do solo em desnível

SN – Sistematização com nivelamento da superfície do solo em nível

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado

T – Tempo de operação (s)

Tc – Tempo de operação menos os tempos de descargas e problemas (s)

TDC% – Tempo de descargas (%)

TDC% **C** – Tempo de descargas sem os tempos das duas lavouras da propriedade **C** que não tiveram descargas (%)

TDL% – Tempo de deslocamentos (%)

TM% – Tempo de manobras (%)

TM% **E** – Tempo de manobras sem os tempos da propriedade **E** (%)

TNA% – Tempo não aproveitável (%)

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Caderneta de campo.....	85
Apêndice B – Dados estatísticos do teste f .....	87

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
2.1 Cultura do arroz.....	18
2.2 Sistematização de Várzeas .....	19
2.3 Mecanização Agrícola .....	22
2.3.1 Custos, gerenciamento e seleção das máquinas agrícolas.....	23
2.3.2 Desempenho operacional.....	26
2.3.3 Eficiências e capacidades operacionais .....	27
2.4 Sistema de posicionamento global, agricultura de precisão e desempenho operacional.....	30
<b>3 MATERIAIS E MÉTODO.....</b>	<b>32</b>
3.1 Local da coleta de dados.....	32
3.2 Forma da coleta dos dados .....	34
3.3 Tratamento dos dados.....	37
3.3.1 Variáveis relacionadas com as características das glebas.....	38
3.3.1.1 Área das lavouras .....	38
3.3.1.2 Relação comprimento/largura .....	39
3.3.2 Variáveis relacionadas com a operação.....	40
3.3.2.1 Deslocamento médio.....	40
3.3.2.2 Distância percorrida durante a operação.....	40
3.3.2.3 Relação distância percorrida por manobra.....	41
3.3.2.4 Tempos gastos durante a operação.....	42
3.3.3 Eficiências .....	48
3.3.3.1 Eficiência de campo e eficiência de campo sem tempos gastos em descargas e problemas.....	48
3.3.3.2 Eficiência de tempo e eficiência de tempo sem os tempos gastos em descargas e problemas .....	50
3.3.3.3 Eficiência da barra de corte.....	51
3.3.3.4 Eficiência de trajeto .....	51
3.4 Análises estatísticas das variáveis .....	52

3.4.1 Correlações .....	52
3.4.2 Teste F .....	53
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
4.1 Geometria, área e relação F/W das glebas .....	55
4.2 Deslocamento médio.....	60
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>81</b>
<b>7 APÊNDICES .....</b>	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais da metade da população no planeta Terra. Ele ocupa a segunda posição na lista de cereais mais cultivados no mundo e utiliza uma área de aproximadamente 158 milhões de hectares para seu cultivo. O Brasil se destaca como o maior produtor e consumidor deste cereal na América Latina, possuindo uma produção anual de aproximadamente 12 milhões de toneladas do produto em casca. Além disso, o arroz contribui com 12% das proteínas e 18% das calorias na dieta básica da população brasileira. Além do papel nutricional, o arroz tem fundamental importância econômica e social no país, principalmente no estado do Rio Grande do Sul (RS), onde é produzido mais de 60% do arroz consumido no Brasil, sob o sistema irrigado, e também é a base da geração de renda e empregos para mais de uma centena de municípios. Dentre as seis regiões produtoras de arroz irrigado do RS, destaca-se a Depressão Central, que possui o maior número de lavouras e também de pessoas dependentes desta cultura, o que ressalta sua importância econômica e social para esta região.

Apesar da importância do arroz para a região da Depressão Central, este produto vem enfrentando problema de rentabilidade desde a entrada do Plano Real, no ano de 1994. O preço do produto tem estado abaixo do custo de produção, com raras exceções, fazendo com que a maioria dos produtores se encontre numa situação de endividamento. Assim, é preciso buscar alternativas para aumentar a rentabilidade do produto, como a redução dos custos de produção. Entre estas, devemos considerar a diminuição dos custos referentes às operações mecanizadas, já que elas possuem grande impacto no custo total de produção do arroz irrigado e na maioria das propriedades rurais não se encontram tecnicamente planejadas. Estudos têm mostrado que na região da Depressão Central, o índice de mecanização ( $\text{kW}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) médio das propriedades rurais, que produzem arroz irrigado, está acima do tecnicamente planejado, demonstrando que há uma subutilização das máquinas agrícolas, o que gera custos desnecessários. Na safra 2009/2010, as operações mecanizadas participaram com aproximadamente 30% do custo total de produção.

Dentre as operações mecanizadas, a operação de colheita é a que possui a maior parcela no custo total, devido ao alto custo operacional da máquina que realiza esta operação, denominada colhedora automotriz. Na safra 2009/2010, a operação de colheita mecanizada atingiu 10,46% do custo total de produção (Instituto Rio Grandense do Arroz, IRGA, 2010). Portanto, nota-se que a atenção para a operação de colheita mecanizada é uma importante maneira de ajudar a redução de custo do arroz irrigado, através do correto planejamento, mais especificamente por meio de um adequado dimensionamento da colhedora evitando sua subutilização. Porém, para efetuar este dimensionamento de forma adequada, é necessário conhecer informações sobre as eficiências desta operação (eficiência de campo, de tempo, de trajeto e da barra de corte), para as condições onde as colhedoras irão operar.

As eficiências expressam o rendimento da colhedora e é um dos fatores de grande importância para calcular qual a sua capacidade operacional, indispensável para a tomada de decisões no gerenciamento desta máquina. As eficiências de uma operação são influenciadas por diversos fatores, como formato e tamanho da lavoura, tempo de manobras e de descargas, tipo trajeto realizado, habilidade do operador. No entanto, estes fatores podem ser considerados regionais, interferindo diretamente sobre os valores de eficiência para cada região, o que torna importante conhecer valores de eficiência condizentes com a realidade onde as máquinas irão trabalhar. Atualmente, a maioria das informações de eficiência utilizadas no dimensionamento técnico de colhedoras automotrizes são da Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas e Biológicos (ASABE), dados estes que, em sua maioria, foram gerados em regiões do Estados Unidos com características diferentes das encontradas na região da Depressão Central.

A Depressão Central além de possuir lavouras com características diferentes das do Estados Unidos, tem duas peculiaridades em relação às outras regiões do RS, que juntas a tornam importante para o estudo das eficiências da operação de colheita nesta região, são elas: ser a segunda maior região de lavouras com sistematização da superfície do solo em nível, que difere das lavouras com sistematização da superfície do solo em desnível, pois o formato e o tamanho destas duas modalidades de lavouras, na maioria das vezes, são diferentes e influenciam nas eficiências operacionais. Como segunda peculiaridade, aproximadamente 72% das lavouras estão abaixo de 50 ha, o que exige critério no dimensionamento das

colhedoras, já que estas máquinas possuem um custo fixo alto, o que requer um mínimo de área produtiva para equilibrar estes custos.

Portanto, devido à carência de informações sobre as eficiências da operação de colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado na região da Depressão Central do RS, o objetivo deste trabalho foi avaliar as eficiências operacionais da operação de colheita mecanizada em lavouras sistematizadas com nivelamento da superfície solo em nível e desnível, de arroz irrigado, localizadas na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

Como objetivos específicos o trabalho buscou:

- Determinar e avaliar a eficiência de campo, de tempo, de trajeto e a da barra de corte;
- Verificar se existe diferença entre as duas modalidades de sistematização para as variáveis estudadas;
- Comparar a eficiência de campo média encontrada com a eficiência de campo estabelecida pela ASAE D497.4 (2009b);
- Fornecer informações a respeito da influência da geometria das lavouras sistematizadas com nivelamento da superfície do solo em nível sobre a eficiência de campo;
- Elencar as variáveis que possuem maior correlação com a redução das eficiências;
- Avaliar a correlação da eficiência de campo com as demais eficiências;
- Indicar medidas que possam otimizar a eficiência de campo e de tempo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cultura do arroz

Nenhuma outra atividade econômica alimenta tantas pessoas, sustenta tantas famílias, é tão crucial para o desenvolvimento de tantas nações e apresenta mais impacto sobre o nosso meio ambiente. A produção de arroz alimenta quase a metade do planeta todos os dias, é a principal fonte de renda para milhões de habitações rurais e cobre 11% da terra arável do planeta. (Canrell, 2002 apud ALONÇO et al., 2005).

O Brasil ocupa a nona posição no ranking dos países que mais produzem arroz, sendo que os 10 países maiores produtores são, em ordem decrescente, China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Mianmar, Filipinas, Brasil e Japão (SOSBAI, 2010).

O consumo médio mundial de arroz é de 60 kg/pessoa/ano, sendo que na América Latina são consumidos 30 kg/pessoa/ano, com destaque para o Brasil que possui um consumo de 45 kg/pessoa/ano (SOSBAI, 2010).

O brasileiro destina cerca de 22% do seu orçamento em alimentação, sendo o arroz ainda o principal produto da cesta básica. A partir de 1994 (Plano Real), houve uma expansão da massa salarial e melhoria do poder aquisitivo da população, levando à retração no consumo de arroz e à diversificação do uso de proteínas animais, massas e produtos elaborados com maior valor agregado. (Alonço et al., 2005)

Na safra 2009/2010, a produção nacional foi de 11,66 milhões de toneladas, sendo que 7,32 milhões de toneladas ou aproximadamente 63% foram produzidas no RS. O consumo anual de arroz no Brasil foi de 12,60 toneladas para o ano 2009/2010, o que comprova a importância da produção no estado do Rio Grande do Sul, que contribuiu com aproximadamente 58% da demanda de arroz no Brasil (CONAB, 2010).

O Estado do Rio Grande do Sul possui 133 municípios com lavouras participantes da produção e emprega 37.174 trabalhadores diretos. (IRGA, CENSO 2004/2005).

Também participa com 3,6 % do PIB agrícola brasileiro e gera R\$ 175 milhões de reais em ICMS (Imposto para Circulação de Mercadorias e Serviços) e 250 mil empregos, Alonço et al. (2005).

Segundo o IRGA (Censo 2004/2005), dentre as seis regiões produtoras de arroz irrigado no RS, a região da Depressão Central apresenta as seguintes características:

- é a primeira em número de lavouras, com 3.375 lavouras ou 37%;
- possui 15,4% do total da área cultivada com arroz irrigado do RS;
- tem a menor área média de lavouras do estado, com 47,29ha por lavoura;
- e possui a segunda maior área com lavouras sistematizadas com nivelamento da superfície do solo em nível.

Apesar da grande importância social e econômica do arroz irrigado para o Rio Grande do Sul, este cereal não tem obtido uma boa rentabilidade nos últimos anos. Analisando as médias anuais dos preços do arroz, pago ao produtor, de 1993 a 2001, houve uma queda de 31,4%. (Alonço et al. 2005).

## **2.2 Sistematização de Várzeas**

“A sistematização dos solos de várzeas consiste no processo de adequação da superfície natural do terreno de forma a transformá-la num plano ou numa superfície curva”. (Parfitt et al., 2004, p. 241)

Existem duas modalidades de sistematização de várzeas: sistematização com nivelamento da superfície do solo em desnível (SD) e sistematização com nivelamento da superfície do solo em nível (SN). (Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, SOSBAI, 2010). A primeira possui como principal característica a manutenção da declividade natural do terreno e consiste em uniformizar a superfície

da área a ser cultivada através de curvas de nível temporárias (figura 1). Na segunda, a área a ser sistematizada é subdividida, através da construção de taipas fixas, com altura de no mínimo 30 cm, em áreas menores denominadas de quadros, que possuem geralmente formato retangular e tamanho variável, de acordo com a declividade da área (Figura 2). Esta modalidade tem como principal característica a desestruturação da declividade natural da área, pois dentro de cada quadro é feito o nivelamento da superfície. O tamanho dos quadros deve ser compatível com o tamanho das máquinas e apresentarem relação entre comprimento e largura adequada, sendo a largura variando entre 20 e 50 m, dependendo do declive da área. A figura 3 exemplifica através de uma imagem de satélite com vista superior de uma lavoura SD e quatro lavouras com SN, podemos perceber que na SD as curvas de nível acompanham a declividade natural do terreno e a lavoura possui formato irregular, e na SN há taipas fixas que delimitam as lavouras em formatos regulares.

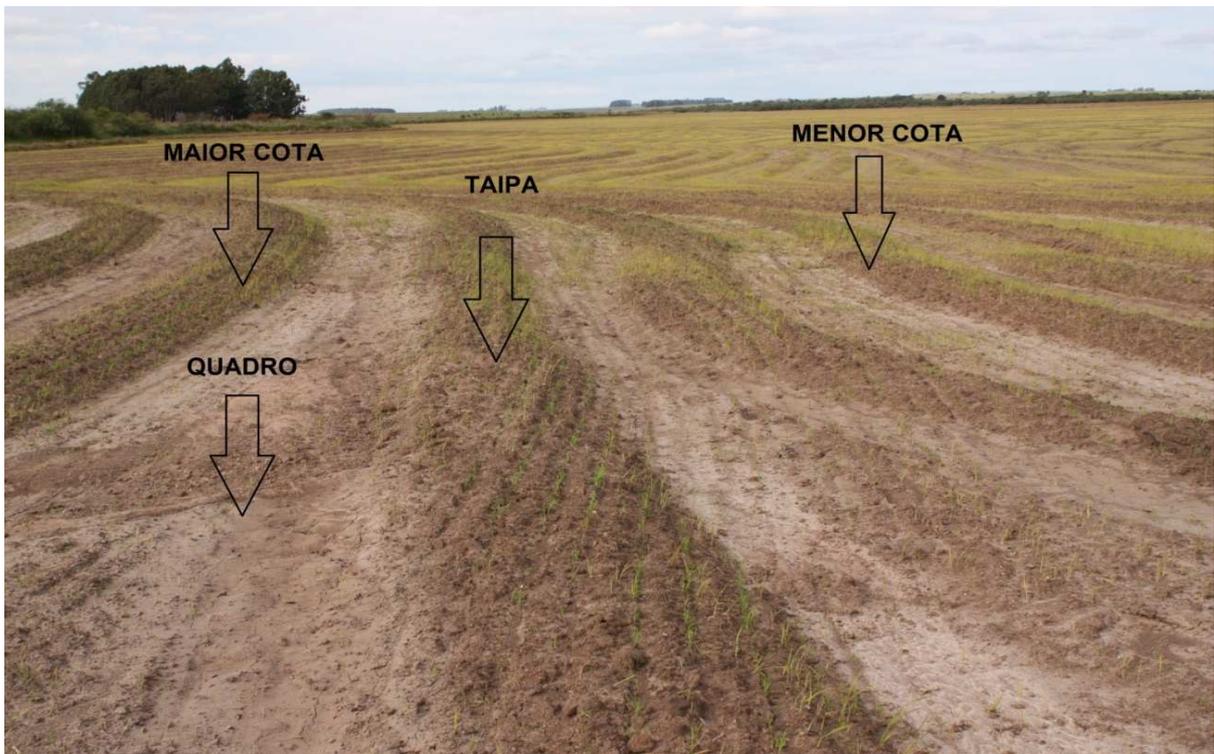


Figura 1 – Exemplo de uma sistematização em desnível.



Figura 2 – Exemplo de uma sistematização em nível.

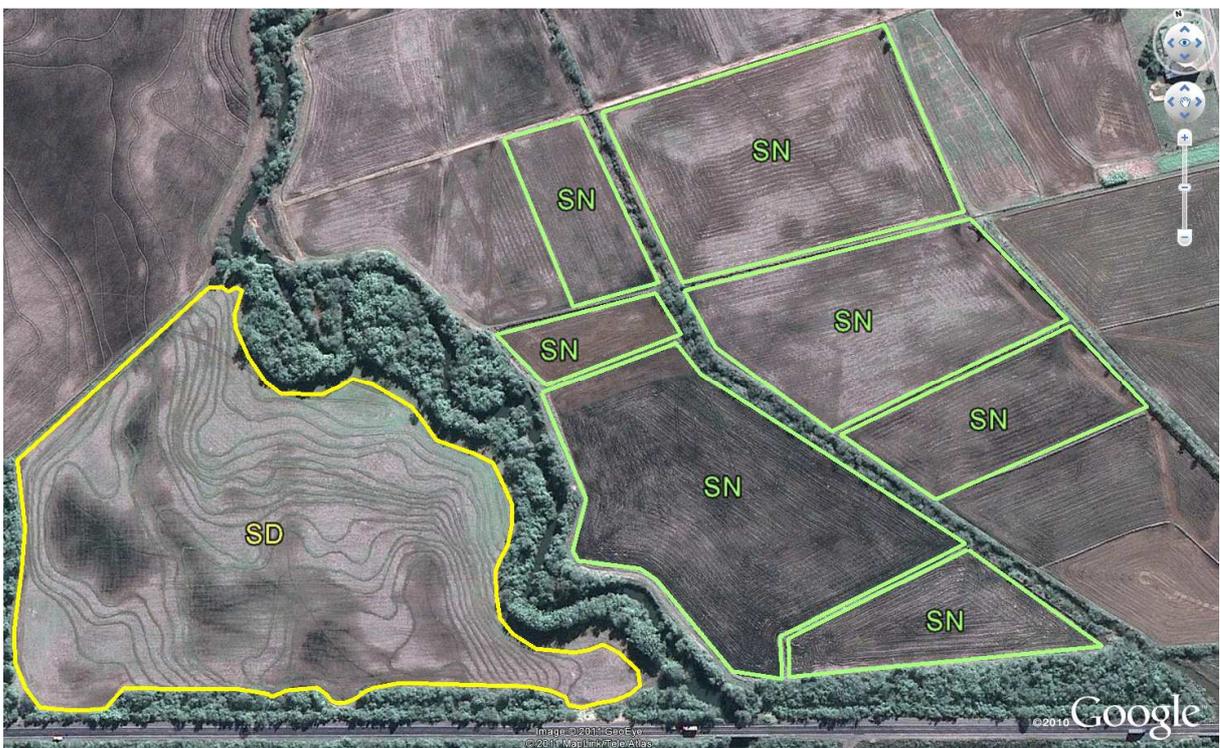


Figura 3 – Exemplos de lavouras sistematizadas em desnível (SD) e em nível (SN).

O RS possui 18,8% de sua área orizícola sistematizada com nivelamento da superfície do solo em nível. A região da Depressão Central é a líder, e possui 60.137ha implantados com esta técnica, ou seja, 37,7% de sua área, sendo que, em alguns municípios, como Faxinal do Soturno, 99,5% da área orizícola é sistematizada em nível (IRGA, Censo 2005).

### **2.3 Mecanização Agrícola**

“A mecanização agrícola tem por objetivo fundamental racionalizar a utilização das máquinas, estudando-as de maneira aplicada”. (Mialhe, 1974, p. 12)

Segundo o mesmo autor, mecanização racional consiste na utilização das máquinas de forma técnica e economicamente organizada, visando obter o máximo de rendimento útil com o mínimo de dispêndio de energia, tempo e dinheiro.

Conforme a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO (1997), a mecanização agrícola tem contribuído significativamente para o desenvolvimento rural e agrícola, pois através da mecanização dos sistemas produtivos, é possível se elevar consideravelmente os níveis de produtividade das culturas.

Para Silveira (2005), o sistema mecanizado agrícola, que é o conjunto de equipamentos, máquinas e implementos que realizam os processos de implantação, condução e retirada das culturas comerciais, pode ser considerado como um ponto estratégico para atuar na redução de custos, pois ele pode representar de 20 a 40% dos custos de produção

O estudo das operações mecanizadas é feito através da eleição de critérios racionais para escolha e manejo de uma máquina, envolvendo considerações sobre aspectos técnicos, econômicos e temporais, o que abrange a eficiência de campo das máquinas utilizadas. (Mialhe, 1974)

Este autor também afirma que as operações agrícolas são constituídas de uma série de eventos que se desencadeiam, a partir de uma condição inicial para atingir uma condição final desejada. Se uma parcela significativa destes eventos resulta de uma ação mecânica, podemos dizer que esta operação é mecanizada. Como exemplo de uma condição inicial podem ser os grãos de soja presente na

lavroura nas vagens, e como condição final, estes grãos no graneleiro de uma colhedora.

Segundo Hunt (2001), a mecanização da colheita de grãos tem sido o objetivo dos produtores há muito tempo. O corte e a debulha de culturas com sementes pequenas eram muito tediosas. Tentativas de desenvolver uma máquina auto propelida capaz de colher plantas com sementes pequenas datam de 1830. Mas somente com advento dos motores de combustão interna com alta potência e baixo peso foi possível o desenvolvimento de uma máquina com as funções de corte, alimentação, debulha, separação e limpeza, denominada de colhedora automotriz (figura 4).

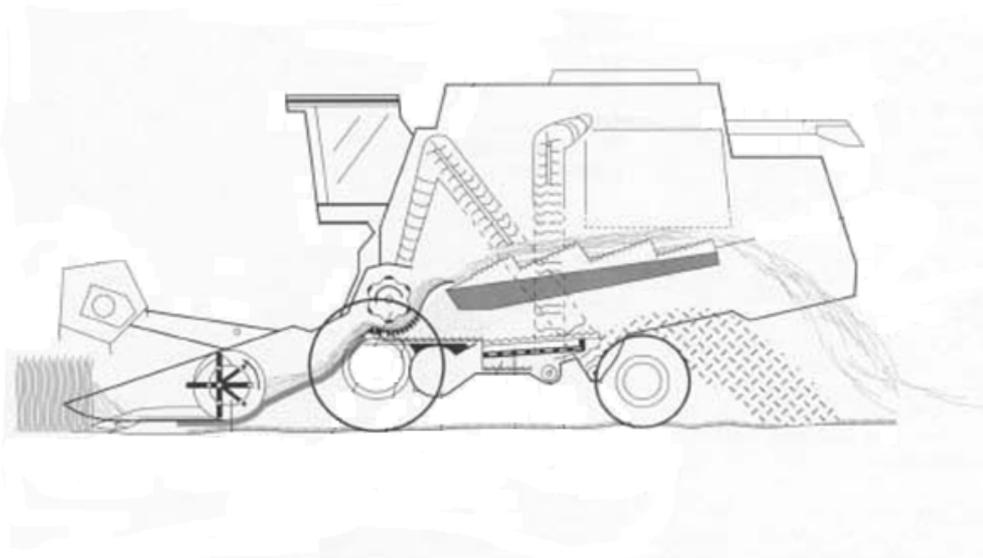


Figura 4 – Desenho esquemático de uma colhedora automotriz.

### 2.3.1 Custos, gerenciamento e seleção das máquinas agrícolas

Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz, IRGA (2006), na safra 05/06 as operações mecanizadas (lavração, desmonte de taipas, discagem, aplainamento, drenagem, adubação de base e semeadura, rolagem, taipas e remontes, adubação de cobertura, colheita e transportes internos) somaram 35,2 % do custo total da

produção.

Dados da Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB (2010), safra 2009/2010, mostram que os custos que envolvem as operações mecanizadas na lavoura de arroz irrigado em três municípios do estado do RS, possuem a importância de aproximadamente 29,5% do custo total de produção. (Tabela 1)

Contudo podemos perceber que os dispêndios relativos às operações mecanizadas podem variar de aproximadamente de 30 a 40%, dependendo da safra, pois existem muitos fatores que influenciam os custos destas operações como: preço do óleo diesel, filtros, lubrificantes e peças de reparos, metodologia de cálculo dos custos, etc.

Tabela 1 – Custo das operações mecanizadas na produção de arroz irrigado em quatro municípios do RS, safra 2009/2010.

Município	R\$/saco 50kg	Custos com operações mecanizadas (R\$/saco 50kg)	% do custo total
Cachoeira do Sul	28,19	8,67	27,59
Itaqui	26,76	6,8	25,39
Pelotas	32,01	9,83	30,72
Sta Vitória do Palmar	32,71	11,13	34,01
<b>Média</b>	<b>29,78</b>	<b>9,10</b>	<b>29,42</b>

Fonte: CONAB, 2010.

Ferreira (1983), afirma que as máquinas agrícolas em geral, principalmente a colhedora automotriz, só permitem emprego estacional, o que determina um uso anual reduzido, acarretando altos custos fixos do ponto de vista econômico. Dados do IRGA (2010), na safra 2009/2010, a operação de colheita mecanizada atingiu 10,46% do custo total de produção.

Tulu et al. (1974), concluíram que um dos fatores que influenciam no custo é a capacidade de campo efetiva diária, que depende da velocidade de operação, da largura do implemento, da eficiência de campo e da jornada de trabalho.

Alcock (1986) atribui ao gerenciamento da maquinaria uma considerável

importância na redução do custo de produção da cultura. Ele engloba o estudo de seleção, controle de operação e determinação do momento adequado para substituir novas máquinas em propriedades agrícolas (WITNEY, 1987). A otimização do maquinário e a determinação do requerimento de potência das máquinas, em uma propriedade, são um problema complexo, pois há casos, em algumas propriedades, que a frota de máquinas é utilizada em mais de uma cultura.

Eficiência de campo é um importante critério para encontrar a capacidade de campo e para tomar importantes decisões sobre o gerenciamento das máquinas. (GRISSE et al., 2002).

Para Silveira (2007), as máquinas deverão estar corretamente adequadas ao tamanho da fazenda e às operações a serem realizadas, de modo que no final resulte numa combinação de equipamentos a mais econômica possível. A maquinaria selecionada deve ter capacidade satisfatória para completar todas as operações dentro dos períodos críticos de tempo disponíveis. Com a produção continuada de máquinas cada vez maiores e mais caras, cada unidade comprada representa despesas também substancialmente maiores.

Segundo Deere & Company (1975), o gerenciamento de maquinaria tem-se tornado cada vez mais importante na execução de operações agrícolas, por estar diretamente relacionado com a capacidade de combinar terra, trabalho e capital para a obtenção de um retorno que signifique lucro satisfatório. Os custos da maquinaria em relação aos custos totais da exploração de uma fazenda, normalmente indicam se a sua utilização está sendo feita de forma acertada ou não.

Para selecionar o número e o tamanho do maquinário sem que haja o super dimensionamento ou sobrecarga de trabalho é extremamente útil o levantamento das perdas por atraso de operação (WITNEY, 1998).

Uma operação agrícola, para ser efetiva no sistema de produção, deve ser executada no prazo agronomicamente ótimo, e a isso se denomina pontualidade da operação (BORGES et al., 2006).

Para Balastreire (1987), a inadequação da capacidade das máquinas em realizar a operação dentro dos prazos está associada ao conceito de pontualidade. Segundo o autor, a pontualidade é a capacidade de efetuar as operações na época em que a qualidade e/ou quantidade de um produto são otimizadas. Dessa forma, a pontualidade nas operações é atingida quando se tem uma seleção adequada de máquinas.

Em alguns países se constata que a disponibilidade de potência e máquinas agrícolas tem falhado em render todo o seu potencial, sendo conseqüência em parte, da inadequada seleção e uso (FAO, 1997).

O índice médio de mecanização ( $\text{kW.ha}^{-1}$ ) nas lavouras de arroz irrigado, na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, foi superior ao tecnicamente planejado, demonstrando que há um excesso de potência e a viabilidade da utilização de ferramentas de planejamento e seleção para a mecanização agrícola, no sentido de otimizar o uso do maquinário na cultura do arroz irrigado. (ERENO, 2008)

### 2.3.2 Desempenho operacional

“Denomina-se desempenho operacional um complexo conjunto de informações que definem, em termos quali-quantitativos, os atributos da maquinaria agrícola quando executam operações sobre determinadas condições de trabalho”. (MIALHE, 1974, p.118)

As informações sobre o desempenho e a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas são de grande importância para o gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando na tomada de decisões. A obtenção de informações sobre o desempenho é normalmente realizada de modo manual, por meio da análise dos tempos e movimentos, consumindo recursos, mão-de-obra e tempo (MOLIN, 2006).

A habilidade de uma máquina para desempenhar eficientemente sua função, trabalhando em qualquer ambiente, 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 a 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 da escolha de espécimes mais adequados a cada situação.

Renoll (1981), afirma que o desempenho das colhedoras é muito importante, por se tratarem de máquinas cada vez maiores e mais caras 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 capacidade do equipamento requerido para o transporte do grão colhido.

Para Hunt (2001), o rendimento econômico depende de três componentes: o rendimento da máquina, o rendimento da potência e o rendimento do operador. O desempenho ou o rendimento de uma colhedora depende do tamanho da barra de corte, de sua velocidade operacional e da produtividade da lavoura. (Roy et al. 2003).

### 2.3.3 Eficiências e capacidades operacionais

#### Eficiência de campo

Segundo a norma ASAE D497.6 (2009), eficiência de campo é a relação entre a capacidade de campo efetiva de uma máquina pela sua capacidade de campo teórica. Esta eficiência está relacionada com as falhas no aproveitamento da largura de trabalho da máquina, com os hábitos do operador, tempo de manobras e características da área.

A capacidade teórica, apresentada em unidade de área por tempo, é obtida a partir de informações das dimensões dos órgãos ativos da máquina, largura de trabalho, e da velocidade máxima que é possível realizar uma operação de forma adequada. Ela reflete a máxima capacidade que a máquina consegue realizar sob condições ideais. A capacidade de campo efetiva, representa a capacidade efetivamente demonstrada pela máquina no campo, diferencia-se da capacidade teórica pelo fato de não incluir os efeitos de alguns fatores de campo, como o aproveitamento parcial da largura de trabalho, devido as sobreposições, e o uso de velocidades de deslocamento inferiores a aquelas que teoricamente poderia

desenvolver. (Mialhe, 1974)

Para Hunt (2001), muitos fatores interferem na eficiência de campo, como capacidade teórica da máquina, manobrabilidade, eficiência de trajeto, geometria da área, tamanho da área, produtividade da cultura (se tratando de uma operação de colheita), condições da cultura e limitações do sistema. Porém, Taylor et al. (2002), relacionando eficiência de campo e produtividade da lavoura, encontrou uma baixa correlação entre estas variáveis. A eficiência de campo em talhões de formato irregular é significativamente menor que a eficiência de campo nos talhões retangulares, devido à necessidade de realizar maior número de manobras. Quando os talhões irregulares possuem lados retos, a razão do tempo de manobras pelo tempo de operação será maior quando comparada com os talhões irregulares com lados também irregulares. Taylor et al. (2002), afirma que para uma determinada operação de campo, há dois principais itens que influencia a eficiência de campo, a sobreposição, ou o baixo aproveitamento da largura de trabalho da máquina e o tempo de manobras. Porém para a operação de colheita, há outro importante fator, o tempo de descarga. No entanto, para aumentar a eficiência da operação de colheita deve-se realizar as descargas com a colhedora automotriz em deslocamento.

Kalsirisilp (1993), pesquisando a capacidade de campo efetiva e a eficiência de campo na operação mecanizada de colheita do arroz, encontrou os seguintes dados: 0,1 a 0,7 ha.h<sup>-1</sup>, com média de 0,4 ha.h<sup>-1</sup> para capacidade de campo efetiva e 28 a 92%, com média de 66% para eficiência de campo.

Foud et al. (1990 apud Roy, 2003, p. 2) encontraram em um estudo sobre a performance da operação de colheita de arroz, com uma colhedora auto propelida de grãos marca Deutz-Fahr, modelo M980, com potência do motor de 53 kW e largura da barra de corte de 3 m, que a eficiência de campo foi aumentada de 54% para 82% com a redução da velocidade de colheita de 2,9 para 0,8km.h<sup>-1</sup>. Este aumento na eficiência ocorreu possivelmente devido ao aumento do tempo em que a máquina estava efetivamente trabalhando em relação ao tempo não aproveitável (tempos gasto em manobras, descargas, etc). Roy (2003), também estudando a eficiência de campo e a capacidade de campo na operação de colheita de arroz realizada por uma colhedora autopropelida de grãos, marca *New Holland*, modelo *Clayson 1545*, largura da barra de corte de 4,2 m e com velocidade média de 4,06 km.h<sup>-1</sup> encontrou dados médios de 72% e 1,01 ha.h<sup>-1</sup>.

## Eficiência de tempo

De acordo com Hunt (2001), eficiência de tempo é o resultado da relação entre o tempo que a máquina efetivamente trabalhou na operação de campo e tempo que ela utilizou para realizar a operação. Ele descreveu a seguinte lista com os elementos que estão associados às típicas operações de campo e que devem ser inclusos quando computados as capacidades e custos das máquinas agrícolas associadas às empresas rurais.

- 1 Tempo de preparação da máquina (incluir os tempos de compras de peças);
- 2 Tempo de deslocamento de ida e volta do campo;
- 3 Preparação da máquina no campo, antes e depois da operação;
- 4 Tempo teórico de operação (tempo em que a máquina opera com a velocidade ótima e com a utilização de toda a sua largura de trabalho);
- 5 Tempo de manobras;
- 6 Tempo para encher e esvaziar o graneleiro da máquina (caso de colhedora auto propelida de grãos);
- 7 Ajustamentos da máquina (incluir engate e desengate de componentes ou implementos);
- 8 Tempo de manutenção (reabastecimento, lubrificação, apertos);
- 9 Tempo de reparos;
- 10 Tempos pessoais do operador.

O item 10 é muito variável e usualmente não é relatado na eficiência operacional da máquina, assim como os itens 1,2 e 3 que freqüentemente não são levados em consideração. Os itens restantes, 4 a 9, são os itens inclusos no termo eficiência de campo.

## Eficiência de percurso ou trajeto

A eficiência de percurso indica o percentual do deslocamento ou da distância

percorrida por uma máquina durante uma operação que ela efetivamente utilizou em trabalho. Esta eficiência está diretamente relacionada com a geometria do talhão, é mais afetada pela relação comprimento/largura do talhão do que pela relação largura do talhão/largura do implemento. (Mialhe, 1974)

Pandey & Devnani (1987 apud Taylor et al., 2002), avaliaram dois padrões de campo para colheita mecanizada e concluíram que a eficiência de campo pode ser aumentada pela otimização do trajeto executado no campo, ou seja, há um aumento da eficiência de campo como aumento da eficiência de trajeto.

#### Eficiência da barra de corte

Esta eficiência expressa a porcentagem de aproveitamento da largura da barra de corte durante uma operação de colheita mecanizada, pode ser conhecida através da relação entre o tempo teórico requerido para a máquina executar a operação no campo e o tempo que a máquina efetivamente trabalhou, desde que os valores de velocidade utilizados para o cálculo da capacidade teórica da colhedora sejam valores de deslocamento médio. (Taylor et al., 2001) Os mesmos autores (2002) encontraram o valor médio de eficiência da barra de corte, para lavouras de soja e milho, de 93,5%.

A eficiência da utilização da largura de trabalho da máquina, ou largura da barra de corte, no caso de colhedoras autopropelidas de grãos, tem um significativo efeito na eficiência de campo, pois o seu aproveitamento está diretamente relacionado a capacidade de campo efetiva da máquina. (Hunt, 2001).

## **2.4 Sistema de posicionamento global, agricultura de precisão e desempenho operacional**

O sistema de posicionamento global (GPS) foi criado pelo governo dos Estados Unidos com o objetivo principal de localizar suas tropas em qualquer lugar da terra. É constituído de 24 satélites, dos quais 21 são de uso corrente e três em

espera. Eles orbitam a uma altura de 20.200 km em seis órbitas distintas, igualmente espaçadas de 60 graus, com quatro satélites por órbita (Morgan, 1997).

A agricultura de precisão engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo do solo, insumos e culturas de modo adequado para as variações espaciais e temporais nos fatores que afetam a produtividade das mesmas (Dallmeyer & Schlosser, 1999). O que tem levado a esta nova ferramenta de prática agrícola é o uso de três novas tecnologias, que são o sensoriamento remoto, o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) e o sistema de posicionamento global.

Grisso et al. (2000), relata que o advento dos monitores de processamento de dados georreferenciados em tempo real tem feito a coleta de dados mais fácil, e freqüentemente estes dados podem ser revistos fora do local onde eles foram coletados.

Os dados georreferenciados podem também ter papel importante na operação e no gerenciamento de máquinas agrícolas. Os dados adquiridos durante a colheita fornecem informações relativas às 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 automotriz. (GRISSE et al., 2002).

Molin (1998), afirma que a agricultura de precisão é um conjunto de técnicas que propõem o tratamento localizado dos pontos do terreno com base na variabilidade espacial, procurando maximizar o uso da terra e dos insumos, aumentando a produtividade da propriedade e diminuindo o custo com insumos.

Blackmore et al. (1994) relatam que a agricultura de precisão aumenta a eficiência do gerenciamento na agricultura, sendo uma tecnologia em desenvolvimento, que modifica técnicas existentes e incorpora novas ferramentas para o administrador utilizar.

“A agricultura de precisão tende a se tornar cada vez mais comum nas propriedades rurais. As tecnologias hoje existentes já permitem que se tenha um grande conhecimento das variabilidades encontradas entre as diferentes áreas da propriedade, o que já proporciona a tomada de decisões com base em dados mais precisos” (Tschiede & Ferreira, 2002).

### 3 MATERIAIS E MÉTODO

#### 3.1 Local da coleta de dados

Os dados foram coletados em seis propriedades que produzem arroz irrigado na região da Depressão Central do RS, denominadas como propriedades A, B, C, D, E e F (figura 5), para evitar a identificação dos proprietários. Elas estão localizadas nos municípios de Arroio Grande, propriedade D, Santa Maria, propriedades B e F, São Sepé, propriedade A, Silveira Martins, propriedade C e Cachoeira do Sul, propriedade E (tabela 2). Nas propriedades A e D foram coletados dados nas duas modalidades de sistematização, nas propriedades C, D e E foram coletados dados somente em lavouras com sistematização com nivelamento da superfície do solo em nível (SN), e na propriedade F foi coletados dados em uma lavoura com sistematização com nivelamento da superfície do solo em desnível (SD).

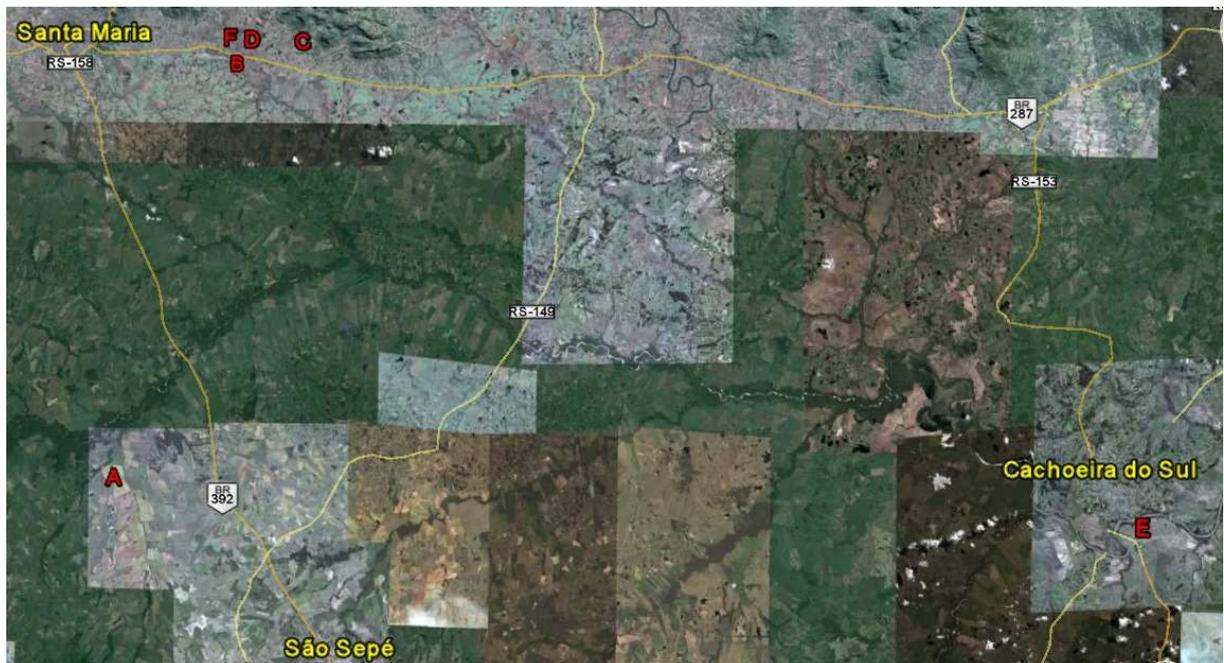


Figura 5 – Localização das propriedades.

Tabela 2 – Municípios onde estão localizadas as propriedades.

Propriedades	Municípios
A	São Sepé
B	Santa Maria
C	Silveira Martins
D	Arroio Grande
E	Cachoeira do Sul
F	Santa Maria

No total foram coletados dados em seis propriedades, totalizando 19 lavouras, sendo 15 com SN, com uma média de 1,63ha, e 4 com SD, com média 6,36ha (tabela 3). As propriedades se caracterizaram por serem produtoras exclusivamente da cultura do arroz irrigado. A área cultivada por elas variou de 43 a 740ha, em todas as operações as propriedades utilizaram colhedores automotrizes próprias com exceção da propriedade F, em que a operação foi terceirizada.

Tabela 3 – Divisão das propriedades conforme a modalidade de sistematização, número de lavouras e dia do início da colheita.

Sistematização	Propriedades	Glebas	Datas da coleta dos dados
SN	A	2	08/04/2009
	B	2	23 e 24/03/2009
	C	4	04/03/2009
	D	3	04 e 28/03/2009
	E	4	17 e 28/02/2009
	<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>8 dias</b>
SD	A	1	25 e 26/03/2009, 02 e 03/04/2009
	D	2	08/04/2009
	F	1	18 e 20/04/2009
	<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>7 dias</b>

As colhedoras automotrizes utilizadas variaram entre três diferentes marcas: John Deere®, Massey Ferguson® e SLC (Schneider Logemann S.A.). As máquinas utilizadas variaram com relação ao mecanismo de separação da palha do grão, a largura da barra de corte e ao mecanismo de locomoção. A largura da barra de corte foi de 3,96m para a maioria das máquinas avaliadas, com exceção de uma, com 5,79m. Os mecanismos de separação da palha do grão encontrados foram saca

palha e rotor, e o dispositivo de deslocamento das máquinas foi de esteiras ou de pneu (tabela 4).

Tabela 4 – Informações das colhedoras automotrizes que realizaram as operações de colheita em cada propriedade.

Propriedades	Marca	Modelo	Pneu/Esteira	Rotor/Saca Palha	Largura Barra de Corte (m)
A	SLC	6200	Esteira	Saca Palha	3,96
B	SLC	6200	Pneu	Saca Palha	3,96
C	Massey Ferguson®	5650	Pneu	Saca Palha	3,96
D	Massey Ferguson®	3640	Pneu	Rotor	3,96
E	John Deere®	1450	Esteira	Rotor	5,79
F	Massey Ferguson®	3640	Pneu	Saca Palha	3,96

### 3.2 Forma da coleta dos dados

Os dados para a determinação dos parâmetros operacionais foram coletados na safra 2008/2009, entre o período dos meses de fevereiro a abril de 2009 (tabela 3). Estes dados foram coletados de duas formas, através de um receptor de sinal GPS (*Global Positioning System*), marca *Garmin*, modelo 60CSX (figura 6), método utilizado por Perin (2008), e através do método convencional, onde em cada operação, a pessoa designada para coletar os dados, acompanhou a colhedora automotriz do início ao fim da operação, anotando os dados necessários para os cálculos dos parâmetros operacionais.



Figura 6 – Receptor de sinal de GPS utilizado na coleta dos dados.

Na coleta com o receptor de sinal GPS de navegação seguiu-se a sistemática utilizada por Perin (2008). Em primeiro lugar a área a ser colhida era medida com o receptor de sinal GPS, a seguir o aparelho era fixado na colhedora automotriz (figura 7). Antes de iniciar a operação o aparelho foi ligado e configurado para adquirir dados na opção automático, no modo o mais freqüente, onde o aparelho capta um ponto com informações da operação cada vez que a máquina muda a direção do seu deslocamento, isto é muda o azimute do deslocamento, depois se esperava até o aparelho captar os sinais dos satélites, sendo então iniciada a operação. Cada ponto coletado pelo receptor GPS contém os dados de velocidade instantânea, coordenadas geográficas (longitude e latitude), data, hora e distância percorrida (figura 8).



- Tabela com os dados da propriedade: proprietário, localização, modalidade de sistematização;
- Tabela com os dados da colhedora: marca, modelo, esteira ou pneu, largura da plataforma, com rotor ou saca palha;
- Tabela com os dados da operação: data, hora do início, hora do fim, tempo total da operação, tempo de cada manobra, tempo de cada descarga, tempo de cada deslocamento, tempo necessário para resolução de imprevistos (reparos e embuchamentos), número de manobras, número de descargas, número de deslocamentos e número de embuchamentos.

### 3.3 Tratamento dos dados

Os dados coletados foram analisados com o auxílio dos seguintes softwares: *GPS TrackMaker®*, Versão Profissional 4.7, *Microsoft Office Excel®* 2007 e *SISVAR*, versão 5.0, da Universidade Federal de Lavras. O *GPS TrackMaker®* é um software utilizado para o tratamento dos dados recebidos pelo receptor de GPS, capaz de determinar cálculo de áreas e distâncias, localização de coordenadas geográficas em mapas, visualização de mapas, etc. O *Microsoft Office Excel®* é um programa de planilha eletrônica de cálculo, que possui ferramentas de cálculo e de construção de gráficos. O *SISVAR* é um programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos.

De posse dos dados adquiridos nas propriedades calculou-se as seguintes variáveis para cada operação:

#### 1 – Relacionadas com as características das glebas;

- Área das glebas;
- Relação comprimento/largura (F/W) das glebas da lavouras sistematizadas em nível.

#### 2 – Relacionadas com a operação:

- Deslocamento Médio da colhedora;

- Distância percorrida pela colhedora;
- Relação área/número de manobras;
- Tempos gastos durante a operação.

### 3 – Eficiências da operação:

- Eficiência de campo operacional, com e sem os tempos de descargas, desembuchamentos e reparos;
- Eficiência de tempo, com e sem os tempos de descargas, desembuchamentos e reparos;
- Eficiência de trajeto;
- Eficiência da barra de corte da colhedora.

#### 3.3.1 Variáveis relacionadas com as características das glebas

Todos estas variáveis foram determinadas através dos dados adquiridos pelo receptor de sinal GPS, *Garmin* 60 CSX, e com o auxílio do software GPS *TrackMaker*®, Versão Profissional 4.7.

##### 3.3.1.1 Área das lavouras

A área de cada lavoura foi medida através do receptor de sinal GPS, *Garmin*, 60 CSX. Com o aparelho configurado no modo medição de área, foi feito o caminhamento do perímetro da área em questão, conforme a necessidade do receptor de sinal GPS, 60 CSX. No escritório, com os dados adquiridos transferidos para o computador e com o auxílio do Software GPS *TrackMaker*®, Versão Profissional 4.7, foi feito um mapa digital e calculado a área para cada da lavoura (figura 9).

### 3.3.1.2 Relação comprimento/largura

A relação comprimento/largura foi determinada somente para as lavouras com sistematização da superfície do solo em nível. Com o software GPS TrackMaker®, Versão Profissional 4.7, determinou-se o comprimento e a largura média de cada quadro, a seguir calculou-se a relação F/W.

$$\text{Relação comprimento/largura} = \frac{F}{W} \quad (01)$$

Onde:

F = Comprimento, m;

W = Largura, m.

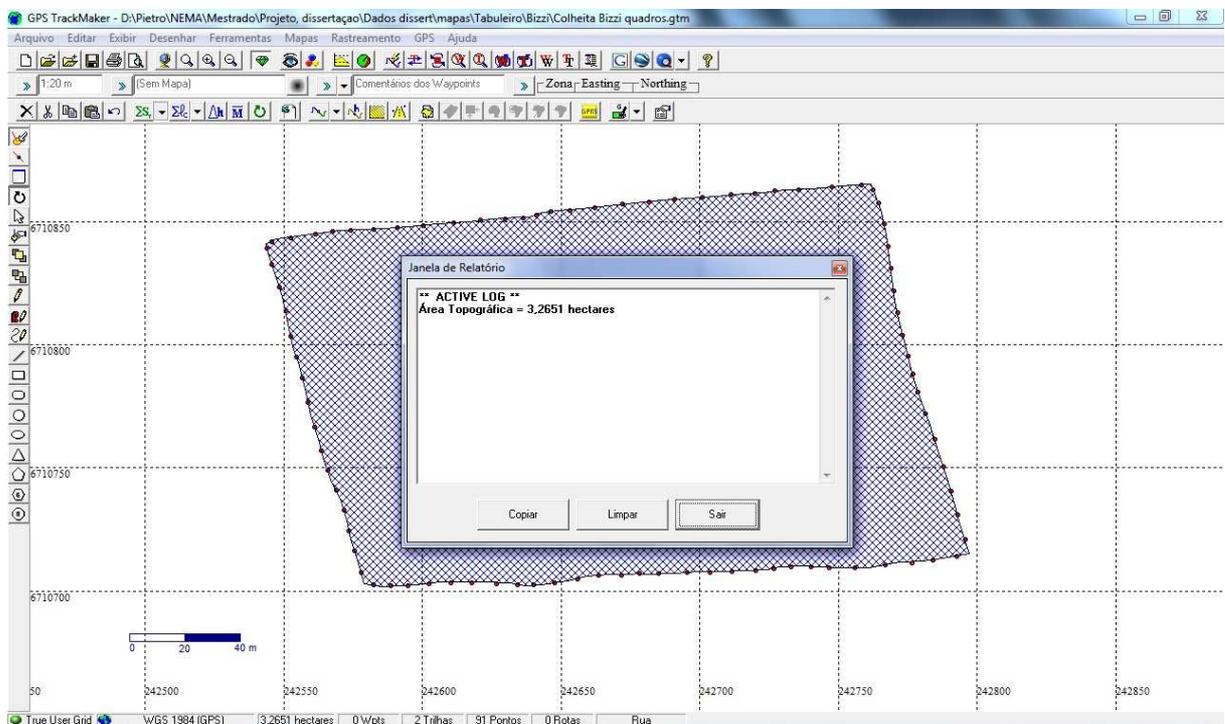


Figura 9 – Exemplo de um mapa digital de uma lavoura.

### 3.3.2 Variáveis relacionadas com a operação

#### 3.3.2.1 Deslocamento médio

O deslocamento médio foi calculado para cada operação através da média de todas as velocidades diferentes de zero, calculadas a partir do receptor de sinal de GPS embarcado na colhedora, conforme a equação a seguir:

$$DM = \frac{\sum V}{n} \quad (2)$$

Onde:

DM = Deslocamento Médio, km.h<sup>-1</sup>;

V = Velocidades diferentes de zero, km.h<sup>-1</sup>;

n = Número de observações diferentes de zero.

#### 3.3.2.2 Distância percorrida durante a operação

A distância percorrida pela colhedora durante a operação precisou ser calculada para determinar a eficiência de trajeto, pois ela é uma das variáveis requeridas pelo método utilizado por Perin (2008).

Através dos dados de comprimento coletados pelo receptor de sinal GPS e com auxílio do software GPS TrackMaker®, foi determinado a distância percorrida pelas colhedoras durante suas operações. A distância de cada operação refere-se ao início da operação, entrada da máquina na lavoura até o término da operação, saída da máquina da lavoura (figura 10).

### 3.3.2.3 Relação distância percorrida por manobra

Esta variável mostra a distância percorrida pela colhedora para cada manobra efetuada, ela representa, indiretamente, a eficiência do trajeto com relação às manobras, onde quanto maior a distância percorrida por manobra, maior é a eficiência do trajeto com relação às manobras. Foi calculada conforme a seguinte equação:

$$DP/M = \frac{DP}{NM} \quad (3)$$

Onde:

DP/M = distância percorrida/manobras, m;

DP = distância percorrida, m;

NM = número de manobras.

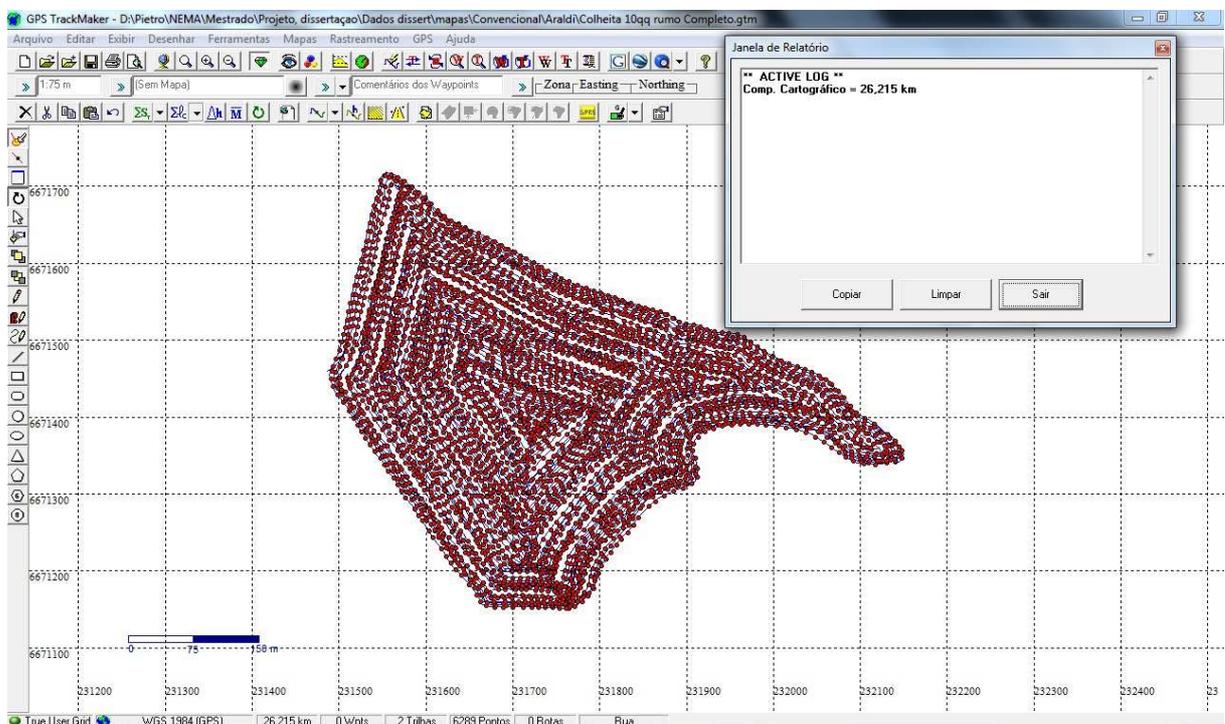


Figura 10 – Exemplo de como foi calculada a distância percorrida.

### 3.3.2.4 Tempos gastos durante a operação

Realizou-se o cálculo de todos os tempos gastos em cada operação, pois, segundo Hunt (1995), os tempos consumidos em manobras, deslocamentos, descargas, desembuchamentos, reparos e o tempo total são necessários para o cálculo da eficiência de tempo da operação.

Através das informações anotadas na caderneta de campo, mais especificamente na tabela de dados da operação (Apêndice A), serviram de base para determinar os tempos gastos durante a operação, que são requisitos para o cálculo da eficiência de campo, de tempo e da barra de corte. Determinaram-se os seguintes tempos:

#### Tempo total

Tempo decorrido entre o início da operação, ou seja, entrada da colhedora na lavoura, e o fim da operação, isto é, saída da colhedora da lavoura.

#### Tempo total sem os tempos de descargas e problemas

Como um dos objetivos específicos deste trabalho, foi verificar se houve diferença entre as eficiências da operação de colheita mecanizada para as duas modalidades de sistematização e visto que os tempos gastos em descargas e em problemas, como reparos e desembuchamentos, variaram bastante entre as operações, o tempo total menos os “tempos problemas” foi uma maneira de eliminar estes fatores de variação para fins de comparação. Ele foi determinado através da seguinte equação:

$$T_c = T - (TTDC + TTP) \quad (4)$$

Onde:

T<sub>c</sub> = Tempo de operação sem os tempos problemas, s;

T = Tempo da operação, s;

TDC = Tempo gasto em descargas, s;

TP = Tempo gasto em problemas, s;

Tempo gasto em manobras

O tempo de manobra é caracterizado como o tempo necessário para a colhedora mudar a direção do seu deslocamento quando termina a passada que está sendo realizada (figura 11). Durante a manobra a colhedora não está efetivamente exercendo trabalho, ou seja, o tempo foi contabilizado somente quando a barra de corte da colhedora não estava colhendo nenhuma planta. O tempo de cada manobra, juntamente com o horário da realização da mesma, foram anotados em uma planilha que faz parte da caderneta de campo.

Em nenhum momento foi interferido na decisão dos operadores sobre como deveriam ser feitas as manobras. Logo as manobras realizadas em todas as operações foram feitas conforme a própria decisão dos operadores.

Determinou-se o tempo total gasto em manobras em cada operação através da soma de todas as manobras realizadas durante a operação, conforme a seguinte equação:

$$TM = \sum TM \quad (5)$$

Onde:

TM = Tempo gasto em manobras, s;

$\sum TM$  = Somatório de todos os tempos gastos em manobras, s.

Em cada operação também foi calculado a porcentagem do tempo total gasto em manobras em relação ao tempo total da operação e ao tempo total da operação sem os tempos de descargas e desembuchamentos, segundo as equações:

$$TM\% = \frac{TM}{T} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

TM% = Porcentagem do tempo de manobras em relação ao tempo de operação, %;

TM = Tempo gasto em manobras, s;

T = Tempo da operação, s.

$$TMc\% = \frac{TM}{Tc} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

TMc% = Porcentagem do tempo de manobras em relação ao tempo de operação menos os tempos de descargas, desembuchamentos e reparos, %;

TM = Tempo total gasto em manobras, s;

Tc = Tempo total de operação sem os tempos gastos em problemas, s.

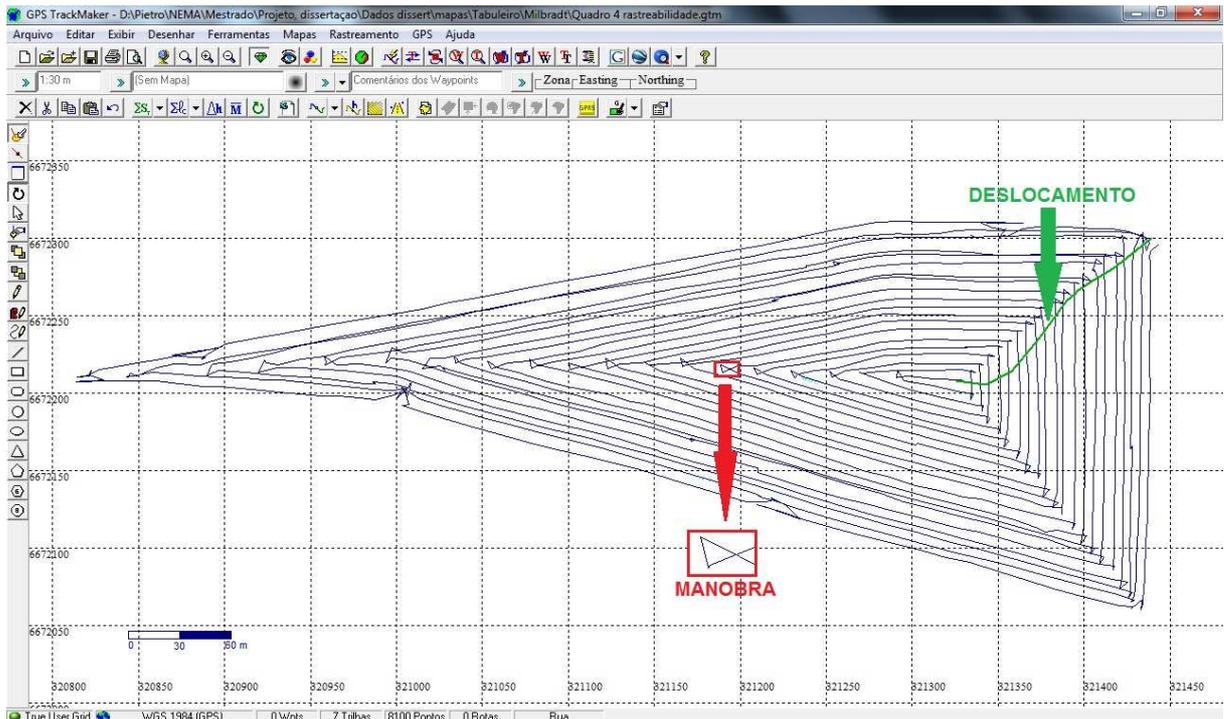


Figura 11 – Representação de uma manobra e um deslocamento realizado em uma operação.

#### Tempo gasto em deslocamentos

O tempo de deslocamento foi definido como o tempo em que a colhedora está se deslocando dentro da lavoura e não está efetivamente trabalhando, saída e entrada da lavoura (figura 11).

Determinou-se o tempo gasto em deslocamentos através da soma de todos os tempos de deslocamentos realizados durante a operação, conforme a equação:

$$TDL = \sum TDL \quad (8)$$

Onde:

TDL = Tempo gasto em deslocamentos, s;

$\sum TDL$  = Somatório de todos os tempos gastos em deslocamentos, s.

Para cada operação também se calculou a porcentagem do tempo total gasto em manobras em relação ao tempo total e ao tempo total menos sem os tempos de descargas, desembuchamentos e reparos, conforme as equações:

$$\text{TDL\%} = \frac{\text{TDL}}{\text{T}} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

TDL% = Porcentagem do tempo total de deslocamentos em relação ao tempo de operação, %;

TDL = Tempo total gasto em deslocamentos, s;

T = Tempo total da operação, s.

$$\text{TDLC\%} = \frac{\text{TDL}}{\text{Tc}} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

TDLC% = Porcentagem do tempo de deslocamentos em relação ao tempo de operação menos os tempos de descargas, desembuchamentos e reparos, %;

TDL = Tempo gasto em deslocamentos, s;

Tc = Tempo de operação sem os tempos gastos problemas, s.

Tempo gasto em descargas

O tempo de descarga foi definido como o tempo entre a parada da colhedora para efetuar uma descarga do arroz até a retomada do trabalho. Assim como os tempos gastos em manobras e deslocamentos, o tempo gasto em descargas e sua

porcentagem em relação ao tempo total foram calculados através da mesma forma, conforme as equações:

$$TDC = \sum TDC \quad (11)$$

Onde:

TDC = Tempo consumido em descargas, s;

$\sum TDC$  = Somatório dos tempos de descargas, s.

$$TDC\% = \frac{TDC}{T} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

TDC% = porcentagem do tempo gasto em descargas em relação ao tempo da operação, %;

TDC = Tempo de descargas, s;

T = Tempo da operação, s.

#### Tempo gasto em problemas

Este tempo foi dividido em tempo para desembuchamentos e reparos. O tempo de desembuchamento foi definido como o tempo parado necessário para desembuchar o sistema de trilha da colhedora e o tempo reparo como o tempo necessário para reparar eventuais problemas ocorridos com a colhedora automotriz, durante a operação.

Seu cálculo seguiu a mesma metodologia dos tempos gastos em manobras, deslocamentos e descargas.

### 3.3.3 Eficiências

Através dos dados adquiridos no campo foram calculadas quatro categorias de eficiência:

- Eficiência operacional de campo;
- Eficiência de tempo;
- Eficiência da barra de corte;
- Eficiência de percurso.

#### 3.3.3.1 Eficiência de campo e eficiência de campo sem tempos gastos em descargas e problemas

A norma ASAE D497.6 (2009) define eficiência de campo como a relação entre a capacidade de campo teórica e a capacidade de campo efetiva. Portanto foi necessário obter o valor destas duas capacidades para realizar o cálculo da eficiência de campo.

Capacidade de campo teórica:

Para o cálculo da capacidade teórica foi utilizado o método descrito por Grisso et al. (2004):

$$CT = \frac{DM \times L}{10} \quad (13)$$

Onde:

CT = Capacidade teórica, ha.h<sup>-1</sup>;

DM = Deslocamento médio da operação, calculado através da média das velocidades capturadas pelo receptor de sinal GPS durante a operação, excluindo as velocidades de deslocamentos e manobras,  $\text{km.h}^{-1}$ ;

L = Largura da barra de corte da colhedora automotriz, m.

Capacidade de campo efetiva:

$$CE = \frac{A}{T} \quad (14)$$

Onde:

CE = Capacidade de campo efetiva, ha/h;

A = Área da lavoura, ha;

T = Tempo da operação, s.

Assim, para o cálculo da eficiência de campo utilizou-se a seguinte equação:

$$e = \frac{CE}{CT} \times 100 \quad (15)$$

Onde:

e = eficiência de campo operacional, %;

CT = Capacidade teórica, ha/h;

CE = Capacidade de campo efetiva, ha/h.

Para o cálculo da eficiência operacional de campo sem os tempos gastos em problemas, utilizaram-se as mesmas equações, no entanto, no cálculo da capacidade operacional de campo, o fator tempo da operação (T) foi substituído pelo tempo total de operação sem os tempos gastos problemas (Tc).

### 3.3.3.2 Eficiência de tempo e eficiência de tempo sem os tempos gastos em descargas e problemas

A eficiência de tempo foi determinada conforme a definição de Hunt (1995), ou seja, relação entre o tempo em que a máquina está efetivamente operando e o tempo total de operação. Foi calculada pela seguinte equação:

$$Et = \{ [TT - (\sum TM + \sum TDL + \sum TDC + \sum TP)] / TT \} \times 100 \quad (16)$$

Onde:

$Et$  = Eficiência de tempo, %;

$TT$  = Tempo total gasto, s;

$\sum TM$  = Somatório dos tempos gastos em manobras, s;

$\sum TDL$  = Somatório dos tempos gastos em deslocamentos, s;

$\sum TDC$  = Somatório dos tempos gastos em descargas, s;

$\sum TP$  = Somatório dos tempos gastos em problemas, s;

Para o cálculo da eficiência de tempo sem os tempos de descargas, e problemas foi utilizada a mesma definição, conforme a seguinte equação:

$$Etc = \{ [Tc - (\sum TM + \sum TDL)] / Tc \} \times 100 \quad (17)$$

Onde:

$Etc$  = Eficiência de tempo sem os tempos gastos em descargas, desembuchamento e reparos, %;

$Tc$  = Tempo de operação sem os tempos gastos em descargas, desembuchamento e reparos, s;

$\sum TM$  = Somatório dos tempos gastos em manobras, s;

$\sum TDL$  = Somatório dos tempos gastos em deslocamentos, s.

### 3.3.3.3 Eficiência da barra de corte

A eficiência da barra de corte foi determinada utilizando a sistemática descrita por Taylor et al. (2001), onde a eficiência da barra de corte é determinada pela seguinte equação:

$$E_{bc} = \frac{T_{te}}{T_{et}} \quad (18)$$

Onde:

$E_{bc}$  = Eficiência da barra de corte, %;

$T_{te}$  = Tempo teórico para realizar a operação, obtido através da capacidade teórica da máquina, s;

$T_{et}$  = Tempo efetivamente trabalhado pela máquina durante a operação, s.

### 3.3.3.4 Eficiência de trajeto

Na determinação da eficiência de trajeto ou eficiência de percurso, definida por Mialhe (1974), utilizou-se a seguinte equação, descrita por Perin (2008):

$$ET\% = \frac{A}{D \times L} \quad (19)$$

Onde:

$ET\%$  = Eficiência de trajeto, %;

$A$  = Área total trabalhada,  $m^2$ ;

$D$  = Distância percorrida, m;

$L$  = Largura da plataforma, m.

### 3.4 Análises estatísticas das variáveis

#### 3.4.1 Correlações

Sabendo-se que os fatores tempo de manobras, tempo de descargas, aproveitamento da largura de trabalho da máquina, geometria da lavoura, velocidade de deslocamento e eficiência de trajeto interferem na eficiência de campo (Witney, 1988; Hunt, 2001; Taylor et al., 2002), buscou-se identificar o nível de relação entre as eficiências calculadas e as demais variáveis, isto é, saber se a alteração sofrida por uma variável é acompanhada pela alteração da outra. Assim, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ) entre aquelas variáveis.

O coeficiente de correlação foi calculado através do software *Microsoft Office Excel®* 2007 entre as variáveis apresentadas na tabela 5 e 6.

Tabela 5 – Eficiência de campo (e%), eficiência de colheita (EC%), eficiência de trajeto (ET%), eficiência da barra de corte (Ebc%) e as respectivas variáveis que foram calculados o coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ).

<b>e%</b>	<b>Et%</b>	<b>ET%</b>	<b>Ebc%</b>	<b>DP/M</b>	<b>F/W</b>
Ebc%	Ebc%	Ebc%	TM%	F/W	TM%
ET%	ET%	TM%	TDC%	TM%	
TM%	TM%	TDC%	TDL%		
TDC%	TDC%	TDL%	DM		
TDL%	TDL%	DM	DP/M		
DM	DM	DP/M			
DP/M	DP/M				

Tabela 6 – Eficiência de campo (e%), eficiência de tempo (Et%), eficiência de trajeto (ET%) e as variáveis tempo de manobras sem a propriedade E (TM% E) e tempo de descargas sem a propriedade C (TDC% C) que foram calculado o coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ).

<b>e%</b>	<b>Et%</b>	<b>ET%</b>
TM% E TDC% C	TDC% C	TM% E

### 3.4.2 Teste F

Um dos objetivos específicos do trabalho foi verificar a existência de diferença entre as duas modalidades de sistematização, SN e SD, para variáveis encontradas. O Teste F foi aplicado para determinar se houve diferença significativa, em nível de cinco por cento de probabilidade de erro, entre as duas modalidades de sistematização para as seguintes variáveis:

- Eficiência de campo operacional, com e sem os tempos de descargas e desembuchamentos, e% e ec;
- Eficiência de tempo, com e sem os tempos de descargas e desembuchamentos, Et% e Etc%;
- Eficiência de trajeto, ET%;
- Eficiência da barra de corte, Ebc%;
- Tempo consumido em manobras, com e sem os tempos de descargas e desembuchamentos, TM% e TMc%;
- Tempo consumido em deslocamentos, com e sem os tempos de descargas e desembuchamentos, TDL% e TDLc%;
- Tempo consumido em descargas, TDC%;

Para a realização do teste F, utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, onde as modalidades de sistematização foram consideradas os tratamentos e as propriedades os blocos, por se tratarem de propriedades com características ambientais possivelmente heterogêneas, o que totalizou dois tratamentos, lavouras sistematizadas com nivelamento da superfície do solo em nível (SN), tratamento N, e lavouras sistematizadas com nivelamentos da superfície do solo em desnível (SD), tratamento D. Devido a amostragem ser aleatória, não foi

possível coletar dados quanto aos dois tipos de sistematizações nas propriedades B, C, E e F, pois as mesmas possuíam glebas com apenas uma modalidade de sistematização, necessitando ser realizada uma análise de blocos incompletos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Geometria, área e relação F/W das glebas

Nas figuras 12 e 13 podemos observar a geometria e a área de todas as lavouras avaliadas conforme cada propriedade, onde as lavouras sistematizadas em nível (SN) variam entre diferentes formatos, quadrado, triangular e retangular, que foi o formato com maior ocorrência. Neste mesmo formato houve uma grande variação, ou seja, lavouras retangulares com comprimento muitas vezes maior que sua largura, expresso através de uma alta relação comprimento/largura (F/W). Já as lavouras sistematizadas em desnível (SD) tiveram formatos irregulares, com exceção de uma lavoura da propriedade D, que teve formato de um retângulo. Assim devido a esta irregularidade da geometria das lavouras SD não se determinou a relação comprimento/largura (F/W) das mesmas.

As informações sobre as áreas de todas as lavouras avaliadas e também a relação comprimento/largura (F/W) das glebas das lavouras sistematizadas em nível, estão apresentadas na tabela 7. Estas áreas tiveram uma grande amplitude de variação, onde a menor lavoura, com SN, obteve uma área de 0,18 ha e a maior lavoura, com SD, apresentou uma área de 17,02 ha. As lavouras sistematizadas em nível tiveram uma área média de 1,65 ha e as lavouras sistematizadas em desnível tiveram uma área média de 6,36 ha.

Tabela 7 – Valores das áreas das glebas (ha), relação distância percorrida/manobra (DP/M) e relação F/W das glebas com sistematização em nível.

Modalidade Sist.	Propriedades	Área (ha)	Relação distância percorrida/manobra (m)	Relação F/W	Média Ponderada F/W
SN	A	1,92	133,37	3,33	6,2
	A	0,96	94,79	2,20	
	B	3,25	101,71	3,52	
	B	0,69	129,80	1,42	
	C	0,69	78,78	2,18	
	C	0,39	48,12	1,03	
	C	0,24	47,81	2,07	
	C	0,18	53,50	4,60	
	D	1,11	73,59	1,09	
	D	1,24	82,86	1,54	
	D	0,97	76,79	1,46	
	E	3,3	464,38	6,22	
	E	0,98	685,25	24,05	
	E	1,04	578,60	19,68	
	SD	E	7,73	246,45	
A		17,02	267,05		
D		0,95	82,00		
D		2,25	133,78		
F		5,24	209,88		

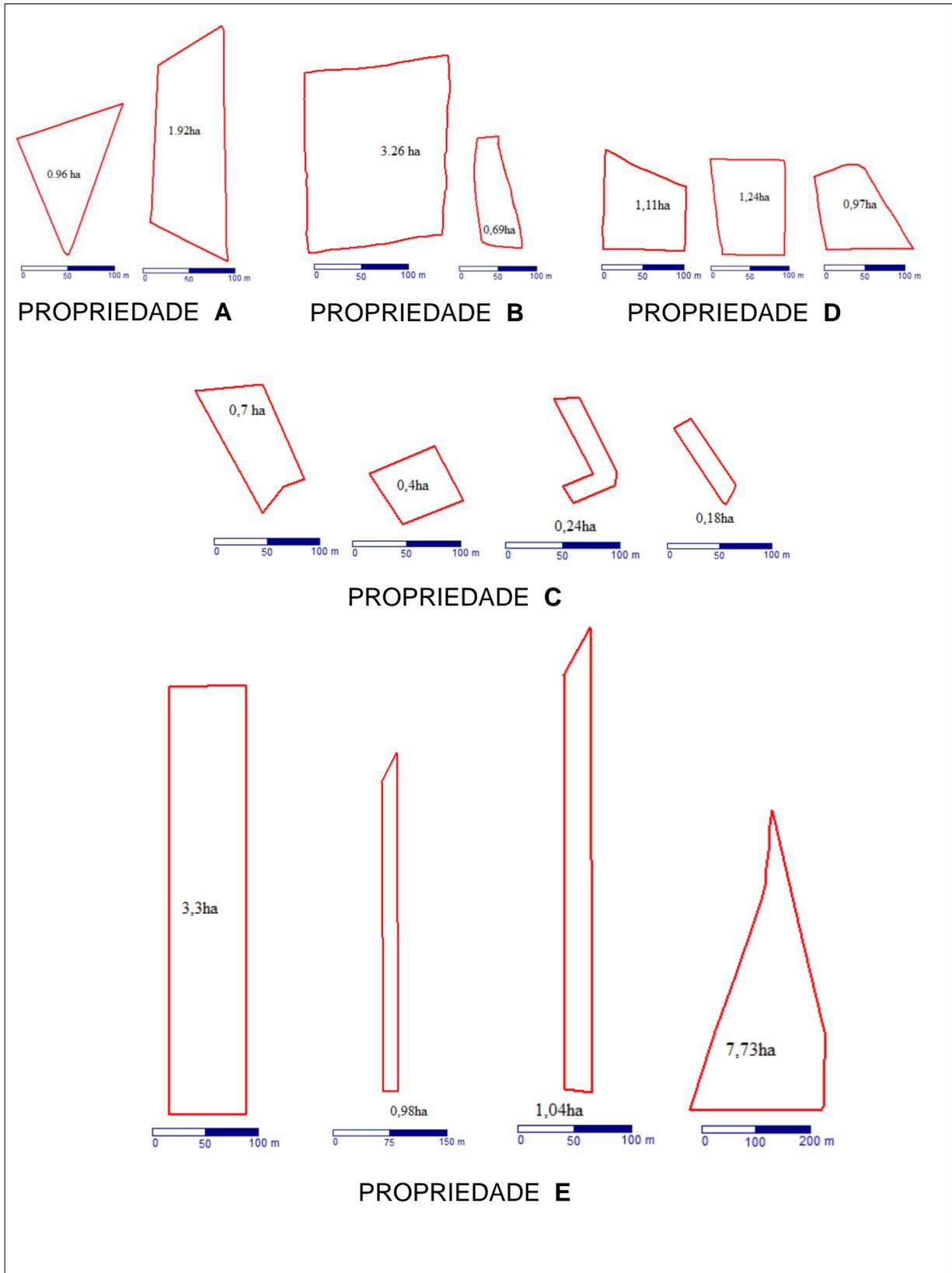


Figura 12 – Geometria e área de todas as lavouras sistematizadas em nível (SN) avaliadas.

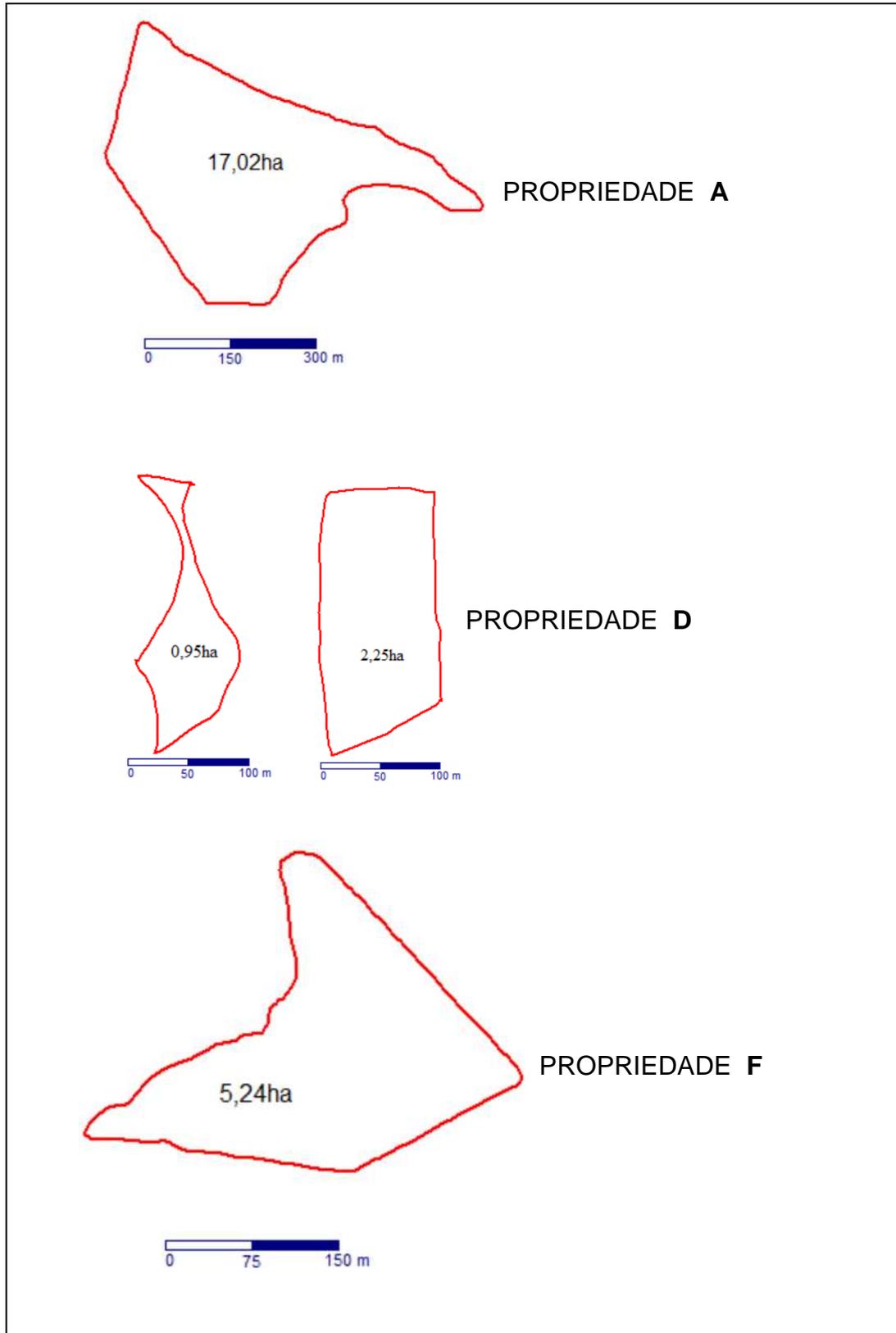


Figura 13 – Geometria e área de todas as lavouras sistematizadas em desnível (SD) avaliadas.

A relação  $F/W$  também teve uma grande amplitude de variação, variando de 1,03, gleba da propriedade C, com um formato quase quadrado, a 24,05, gleba da propriedade E, com um formato de um retângulo alongado, figuras 14 e 15. A média ponderada da relação  $F/W$  foi de 6,2, informando que, na média, as glebas foram seis vezes mais compridas do que largas. Segundo Mialhe (1974), a partir de uma relação  $F/W$  igual a 5 pode-se obter uma eficiência de trajeto (ET%), de aproximadamente 90%, dependendo do trajeto escolhido pelo operador, e que variando da relação  $F/W$  de 5 para 10, há pouca possibilidade de aumento da eficiência de percurso, aproximadamente 5% (figura 16).

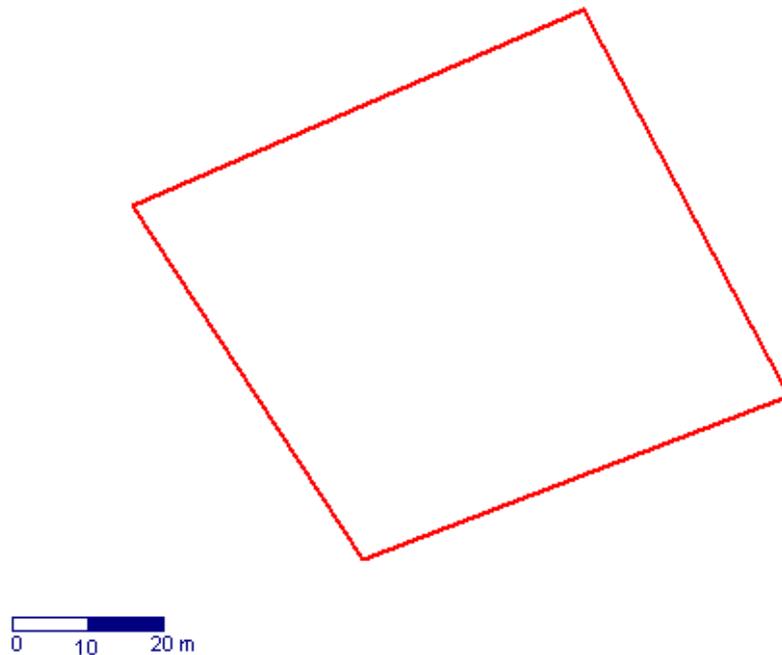


Figura 14 – Geometria da gleba com menor relação  $F/W$  encontrada.



Figura 15 – Geometria da gleba com maior relação F/W encontrada.

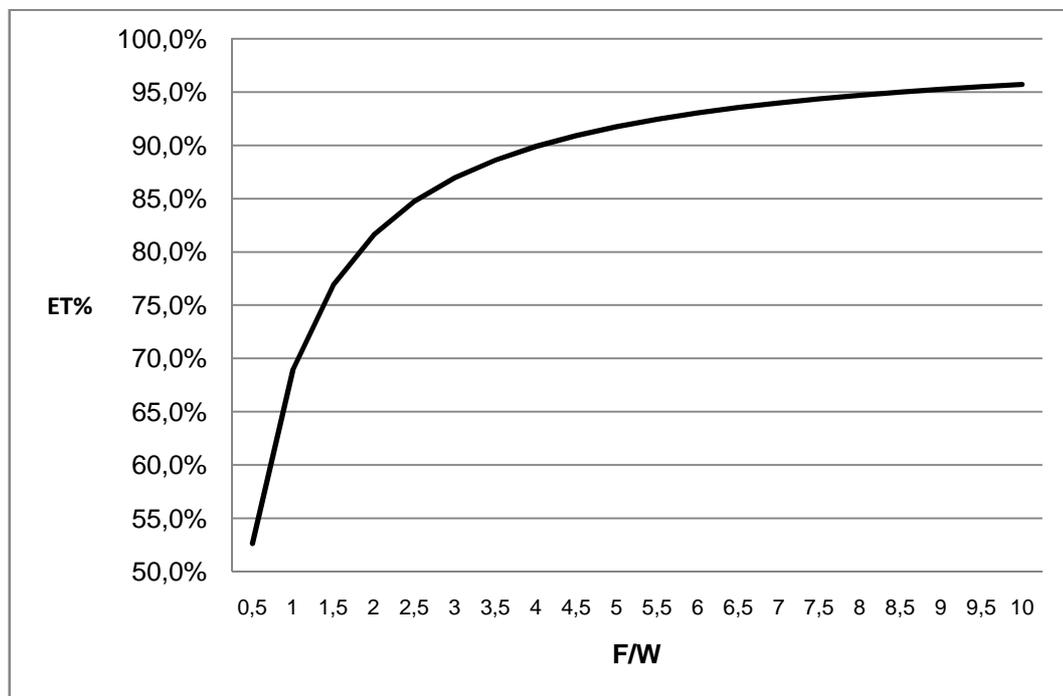


Figura 16 – Variação curva de eficiência de trajeto (ET%) para diferentes relações comprimento/largura (F/W) de um talhão.

Fonte: Adaptado de Mialhe, 1974.

## 4.2 Deslocamento médio

O deslocamento médio teve uma variação de 1,33 a 2,44km.h<sup>-1</sup> e uma média geral de 1,97 km.h<sup>-1</sup>. Com relação às modalidades de sistematizações, as lavouras com SN tiveram média de 2,01km.h<sup>-1</sup>, variando de 1,57 a 2,53 km.h<sup>-1</sup>, as lavouras

com SD tiveram média, de 1,83 km.h<sup>-1</sup>, variando de 1,60 a 1,91 km.h<sup>-1</sup>, conforme tabela 8. Apesar das lavouras com SN terem obtido um maior deslocamento médio em relação às lavouras com SD, o teste F não apontou diferença significativa entre as duas modalidades de sistematização para um nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 8 – Deslocamento médio (km.h<sup>-1</sup>) para cada operação, propriedade, modalidade de sistematização e geral.

Modalidade Sistematização	Propriedades	DM (km.h <sup>-1</sup> )	Média Sist.	Média Geral
SN	A	1,57	2,01	1,97
	A	1,47		
	B	1,40		
	B	1,33		
	C	2,40		
	C	2,24		
	C	2,53		
	C	2,48		
	D	2,05		
	D	2,00		
	D	1,95		
	E	1,94		
	E	2,44		
	E	2,33		
SD	E	1,97		
	A	1,91		
	D	1,99		
	D	1,82		
	F	1,60		

### 4.3 Relação distância percorrida/manobra

A relação DP/M teve uma alta amplitude de variação entre as glebas, variou de 47,81 a 685,25 m/manobra, significando que a operação na gleba com menor valor foi menos eficiente que a operação com maior valor, isto é, para cada 47,81m percorridos na gleba de menor relação, a colhedora automotriz precisou realizar uma manobra, enquanto que na outra operação a colhedora efetuou uma manobra para cada 685,25m percorridos (tabela 9).

Esta relação DP/M está diretamente relacionada com a relação F/W, pois a variação delas, ou seja, os valores menores e maiores para cada uma ocorreram nas mesmas lavouras (tabela 7) e também a correlação calculada entre estas duas variáveis obteve um valor alto (0,92). Esta correlação pode ser explicada pelo fato de que quanto maior a relação F/W maior é o comprimento do quadro e conseqüentemente uma maior distância necessita ser percorrida entre uma manobra e outra.

Tabela 9 – Menores e maiores relações comprimento/largura (F/W) e distância percorrida/manobra encontradas.

	F/W	DP/M (m)
Gleba C	1,03	48,12
Gleba E	24,05	685,25

#### 4.4 Eficiências

Para todas as eficiências determinadas (tabela 10), e as suas variáveis correlacionadas, não houve diferença significativa, admitindo-se nível de 5% de probabilidade de erro, entre as lavouras com SN e SD. Assim, suas avaliações levaram em consideração os valores gerais encontrados nas lavouras.

Tabela 10 – Médias das eficiências encontradas, eficiência de campo (e%), eficiência de campo sem os tempos de descargas e problemas (ec%), eficiência de tempo (Et%), eficiência de tempo sem os tempos de descargas e problemas (etc%), eficiência de trajeto (ET%) e eficiência da barra de corte (Ebc%), para as duas modalidades de sistematização e geral.

Eficiências	SN	SD	Geral
e%	63,97	69,79	65,20
ec%	72,97	77,35	73,89
Et%	74,35	80,70	75,69
Etc	84,83	89,17	85,74
ET%	70,84	76,24	71,97
Ebc%	86,43	86,61	86,43

#### 4.4.1 Eficiência de Tempo

Devido à coleta manual dos tempos gastos durante as operações, foi possível determinar com precisão, para cada operação, a distribuição dos tempos não aproveitáveis para cada fator: manobras, descargas, deslocamentos e tempos problemas (tabela 12).

A média geral do tempo total não aproveitável (TNA%) foi de 24,30%, ou seja, do tempo total utilizado pelas colhedoras automotrizes para efetuar a operação, 24,30% foram consumidos em manobras, descargas, deslocamentos e/ou em problemas (figura 17). Calculando a porcentagem de cada fator de perda em relação ao tempo total não aproveitável obtemos: 45,68% para manobras, 44,36% para descargas, 7,28% para deslocamentos e 2,67% para problemas (figura 18). Através do valor do TNA%, calculou-se a eficiência de tempo (Et%), que nos mostra a porcentagem do tempo total da operação que colhedora efetivamente trabalhou, assim, os valores médios encontrados foram: 75,70% para Et%, 11,10% para manobras, 10,78% para descargas, 1,77% para deslocamentos e 0,65% para problemas (figura 19).

Tabela 11 – Distribuição dos tempos encontrados em cada operação conforme a modalidade de sistematização e as propriedades.

Modalidade	Propriedades	Et%	TM%	TDL%	TDC%	TP%	$\Sigma$ TNA%
SN	A	78,80	8,36	1,47	7,41	3,97	21,21
	A	77,08	13,39	1,33	7,58	0,63	22,93
	B	76,52	7,15	2,63	13,7	0,00	23,48
	B	80,90	7,36	0,75	10,99	0,00	19,10
	C	77,90	15,13	1,74	5,23	0,00	22,10
	C	73,54	25,02	1,43	0,00	0,00	26,45
	C	74,22	23,08	2,70	0,00	0,00	25,78
	C	62,38	19,27	3,83	14,52	0,00	37,62
	D	75,00	17,41	0,22	7,37	0,00	25,00
	D	75,91	14,76	1,24	8,10	0,00	24,10
	D	57,44	12,19	1,11	29,26	0,00	42,56
	E	87,56	2,26	0,81	9,37	0,00	12,44
	E	77,68	2,44	3,21	16,68	0,00	22,33
	E	72,68	3,47	5,34	18,51	0,00	27,32
	E	67,67	4,37	0,48	23,95	3,53	32,33
SD	A	81,34	5,19	1,19	12,06	0,22	18,66
	D	81,62	15,31	1,40	1,67	0,00	18,38
	D	86,08	10,22	0,71	1,73	0,00	12,66
	F	73,75	4,20	2,05	16,27	0,00	26,25
	<b>Média</b>		<b>75,70</b>	<b>11,10</b>	<b>1,77</b>	<b>10,78</b>	<b>0,65</b>

Os valores de Et% variaram de 57,44 a 87,56%, uma diferença de aproximadamente 50% do menor para o maior valor. Observando a tabela 13, podemos entender a causa desta variação, que está relacionada com os tempos não aproveitáveis. A menor Et% apresentou um tempo total não aproveitável (TNA%) de 42,56%, aproximadamente 75% maior que a média, o que é causa direta do tempo de descarga (TDC%) da operação, pois é o mais alto (29,26%), entre todos os tempos. Isto se confirma através dos números contidos na tabela 13 e também pelo fato que nesta operação houve um problema na carreta graneleira que recebia o arroz da colhedora, o que fez aumentar o TDC%. Já o maior número da variação de Et%, se deve principalmente ao tempo de manobra desta operação (2,26) que foi bem abaixo da média.

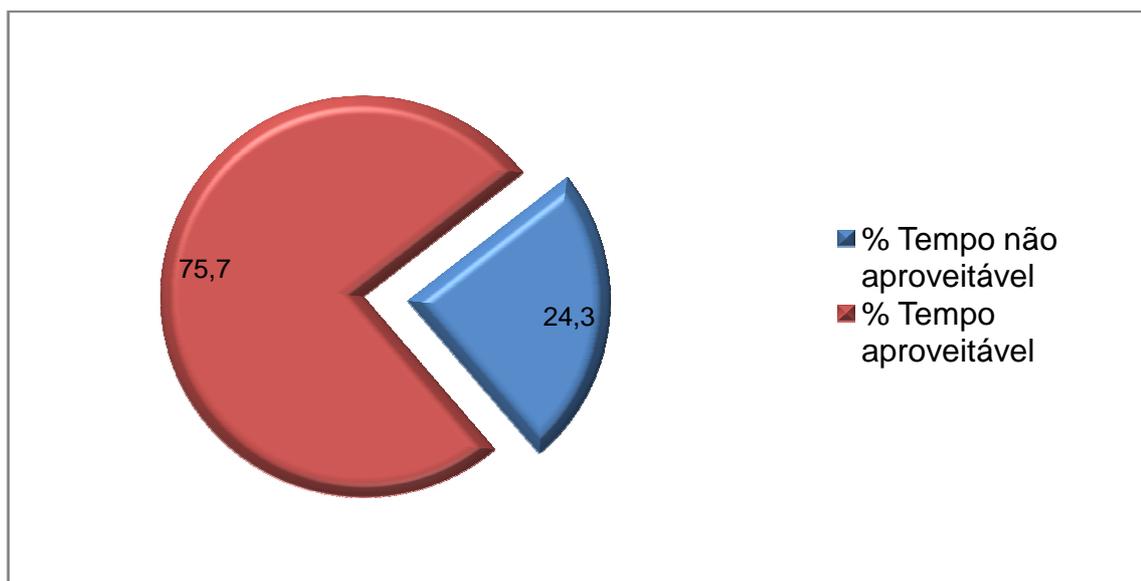


Figura 17 – Distribuição média entre tempo aproveitável e não aproveitável nas operações.

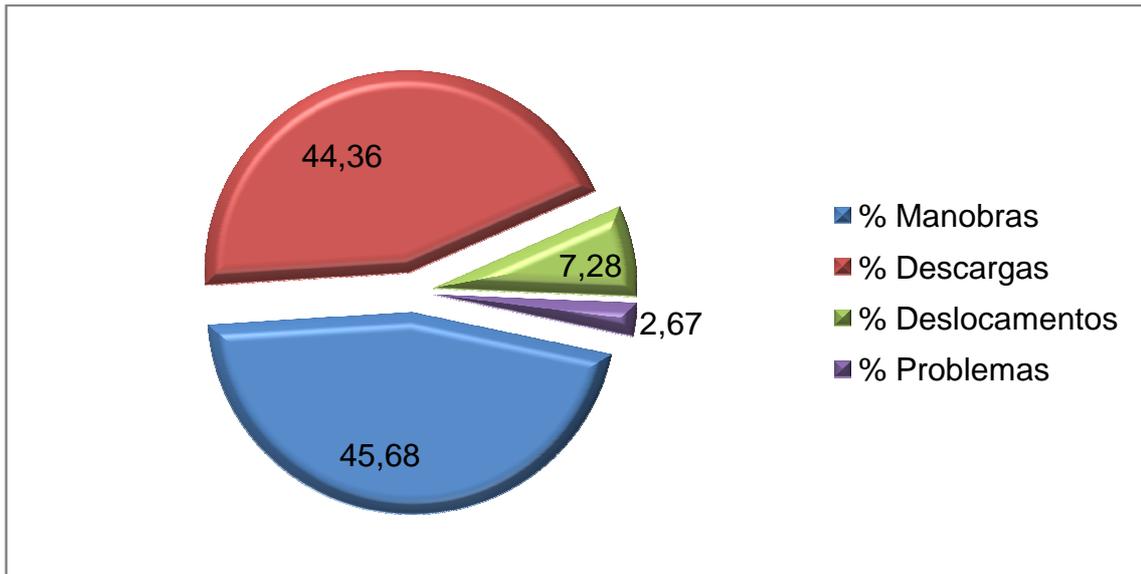


Figura 18 – Porcentagem dos tempos das manobras, descargas, deslocamentos e problemas em relação ao tempo total não aproveitável.

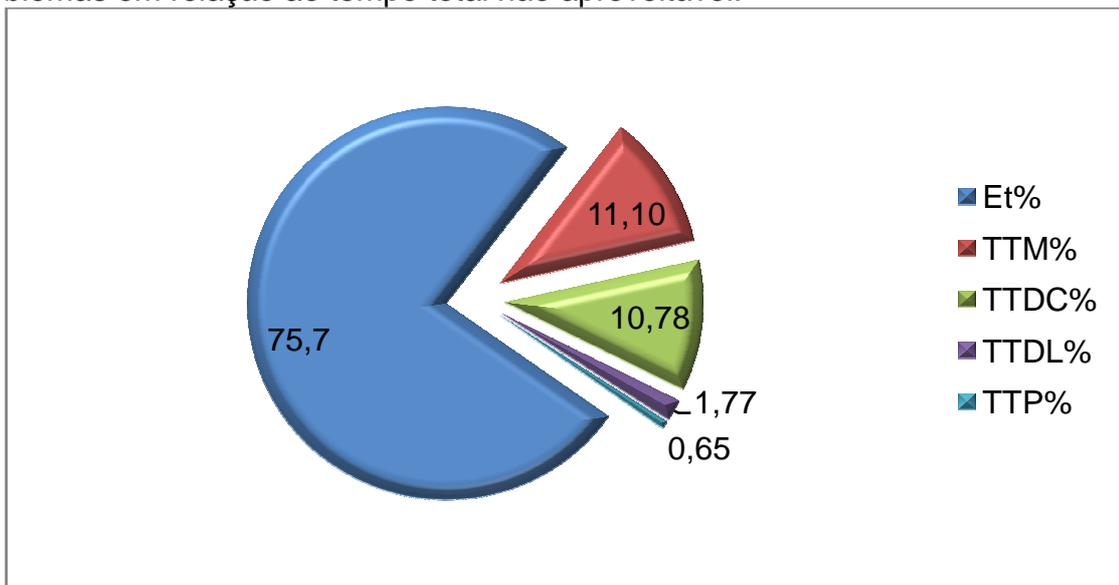


Figura 19 – Distribuição dos tempos não aproveitáveis em relação ao tempo total de operação e a porcentagem de tempo que a colhedora automotriz efetivamente trabalhou.

Podemos observar na tabela 11 que a maior variação ocorreu nos fatores manobras e descargas, o primeiro fator variou de 2,26 a 25,02%, com média 11,08%, e o segundo variou de 0 a 29,26%, com média 10,76%.

Nas manobras, os dois valores mais altos, 23,08 e 25,02%, ocorreram em duas operações na propriedade C, eles estão relacionados com o fato das descargas

terem sido feitas com a colhedora em movimento, ou seja, ela não parou o seu deslocamento para efetuar as descargas. Os valores mais baixos, para serem explicados, precisam ser divididos em duas categorias, os das lavouras com SN, 2,26%, 2,44%, 3,44% e 4,37%, e os das lavouras com SD, 4,20% e 5,19%, os quatro primeiros, são todos da propriedade E, são explicados pelas suas altas relações F/W e DP/M, pois foram as lavouras com os maiores valores (tabela 7). Os outros dois valores, das propriedades F e A respectivamente, podem ser explicados por duas causas: primeira, estas operações tiveram alta relação DP/M, isto é as máquinas percorreram uma distância maior por manobra do que as outras operações, o que faz diminuir o número de manobras por área colhida, segunda causa, a forma como os operadores conduziram as colhedoras em alguns dos vértices das lavouras, neste local, geralmente é executada uma manobra, porém, quando possível, os operadores procuraram contornar estes cantos executando uma trajetória em forma de um semi círculo, sem efetuar manobra, mesmo perdendo em eficiência na barra de corte (figura 20).

A eficiência de tempo obteve correlação mais alta com a variável tempo de descarga, porém quando se retirou a propriedade E para realizar o coeficiente de correlação entre eficiência de tempo e tempo total de manobras, pois esta propriedade obteve uma média de tempo total de manobras muito inferior a média geral, o valor subiu para -0,85 (tabela 12), mostrando que o tempo de descarga teve grande influência na eficiência de tempo das operações analisadas. As correlações negativas indicaram que com o aumento dos tempos de descarga e manobra, a eficiência de tempo foi reduzida. A tendência entre estas variáveis pode ser visualizada na figura 21.

Tabela 12 – Coeficientes de correlação entre a eficiência de tempo e o tempo de manobras (TM%), tempo de manobras sem a propriedade E (TM%E) e tempo de descarga (TDC%).

	<b>TDC%</b>	<b>TM%</b>	<b>TM%E</b>
<b>Et%</b>	-0,63	-0,27	-0,85

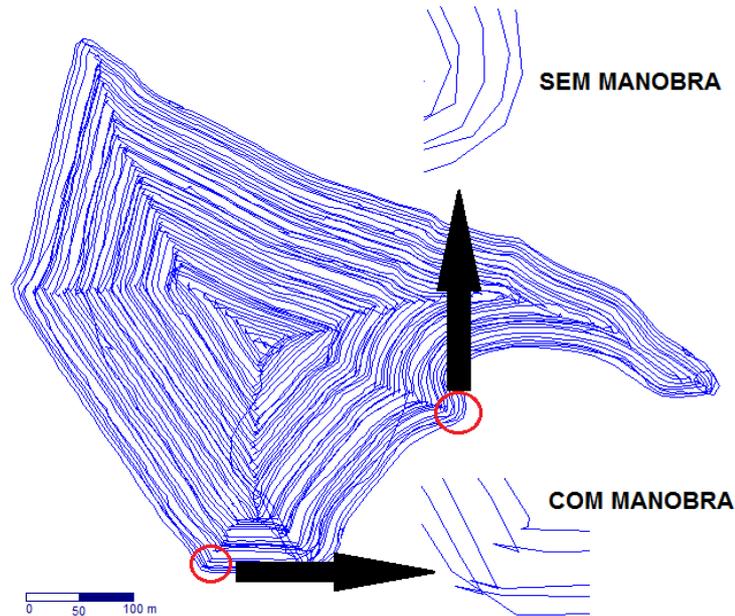


Figura 20 – Detalhe da trajetória executada pelo operador em um dos vértices da lavoura.

Taylor et al. (2002), avaliando a eficiência da colheita mecanizada em 23 operações de colheita mecanizada de soja e milho, encontrou um tempo médio não aproveitável de 44,64%, contra os 24,30% aqui encontrados, esta superioridade pode ser devida principalmente a três questões: primeira, os tempos problemas participaram com 38% do tempo não aproveitável, contra os 2,67% aqui encontrados, segunda, nas operações de soja e milho, as colhedoras se deslocavam até borda da lavoura para realizar as descargas, o que provavelmente tenha contribuído para o aumento do tempo perdido, e o deslocamento médio, que nas operações de soja e milho teve uma média de  $4,91\text{km/h}^{-1}$ , e nas lavouras arroz irrigado foi encontrado  $1,97\text{km.h}^{-1}$ . Conforme Witney (1988), a eficiência de campo pode ser melhorada através da redução tempos não produtivos e ser reduzida com o aumento do deslocamento médio da operação.

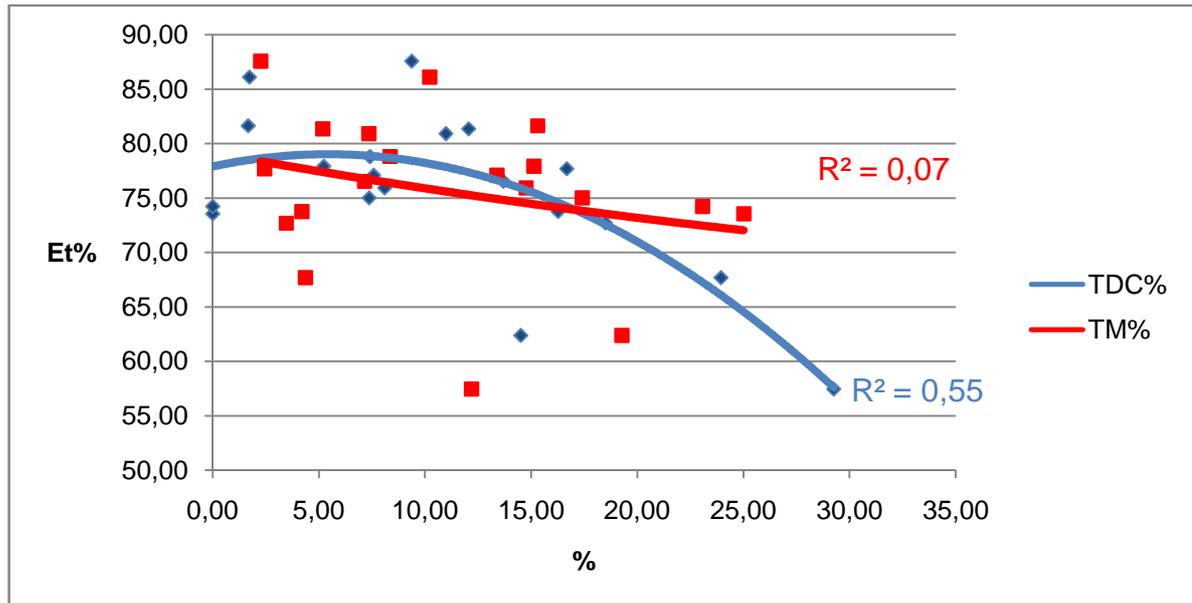


Figura 21 – Tendência do tempo de manobras (TM%) e do tempo de descargas (TDC%) em relação a eficiência de tempo (Et%).

Molin et al. (2004) estudando eficiência de colheita mecanizada em 8 lavouras de milho e soja, também encontraram tempo médio não aproveitável superior ao encontrado neste trabalho, a diferença de 12,07% a mais também pode ser explicada pela maior porcentagem do tempo problema em relação ao tempo não aproveitável, 36,37% contra 2,67%.

#### 4.4.2 Eficiência de campo (e%)

A eficiência de campo (e%) foi, em média de 65,20% e variou de 50,83%, na lavoura da propriedade E, a 77,57%, na lavoura da propriedade A, isto é, uma variação de 52,6% do menor para o maior valor. Através da tabela 13, podemos notar que o menor valor de eficiência está relacionado com o tempo total de descargas, o tempo total de deslocamentos, a eficiência de trajeto e a eficiência da barra de corte. As duas primeiras variáveis ficaram acima da média e as duas últimas valores abaixo da média, sendo que a eficiência da barra de corte foi a menor (69,94%), entre todas as operações avaliadas. A maior eficiência de campo

encontrada (77,57%) pode ser explicada pelos fatores de perda de tempo, pois os quatro foram menores que a média, e as eficiências de trajeto e da barra de corte, que apresentaram os maiores números entre as operações estudadas, 84,54% e 98,45% respectivamente.

Taylor et al. (2002), encontrou um valor médio de 54% para a eficiência de campo, aproximadamente 11% menor que a eficiência média encontrada aqui, porém eles obtiveram um valor de tempo problema médio de aproximadamente 17,5% em relação ao tempo total de operação, e um deslocamento médio de  $4,91\text{km.h}^{-1}$ , contra 0,65% e  $1,97\text{km.h}^{-1}$  encontrados neste trabalho. No entanto, se os tempos para resolução de imprevistos forem eliminados, os valores de eficiência de campo ficam bem próximos entre os dois trabalhos, 61% para Taylor et al. (2002) e 65,49% neste trabalho.

Grisso (2002, 2004), avaliando a eficiência de campo da operação de colheita mecanizada em lavouras de milho e soja, encontrou valores de eficiência de campo média de 53,5% e 59,0%, números bem próximos ao encontrado por Taylor et al. (2001) e um pouco inferior ao encontrado neste trabalho (tabela 14).

Estabelecendo um comparativo entre os valores de eficiência de campo citados pela norma ASAE D497.6 (2009) e os valores aqui encontrados, a variação obteve números extremos para os maiores e menores valores inferiores aos normatizados pela associação, porém, a média, situou-se dentro dos limites trazidos pelo órgão, o que não ocorreu para os valores encontrados por Taylor et al. (2002) e Grisso (2002, 2004) (tabela 14). Embora, o valor médio tenha ficado no limite inferior da variação citada pela ASABE (2009b), observando a distribuição de freqüência na figura 22, aproximadamente 42% dos valores encontrados são iguais ou maiores que 70%.

Tabela 13 – Valores de eficiência de campo (e%), tempo de manobras (TM%), tempo de deslocamentos (TDL%), tempo de descargas (TDC%), tempo problemas (TP%), eficiência de trajeto (ET%), eficiência da barra de corte (Ebc%), distância percorrida/manobra (DP/M), relação comprimento/largura (F/W) e suas respectivas médias para todas as lavouras avaliadas.

Modalidade	Propriedades	e%	TM%	TDL%	TDC%	TP%	ET%	Ebc%	DP/M	F/W
SD	A	77,57	8,36	1,47	7,41	3,97	84,54	98,45	133,37	3,33
	A	72,99	13,39	1,33	7,58	0,63	75,22	94,69	94,79	2,20
	B	60,22	7,15	2,63	13,7	0,00	71,38	80,76	101,71	3,52
	B	72,74	7,36	0,75	10,99	0,00	78,06	89,91	129,80	1,42
	C	60,78	15,13	1,74	5,23	0,00	61,44	78,02	78,78	2,18
	C	58,71	25,02	1,43	0,00	0,00	60,20	79,83	48,12	1,03
	C	60,31	23,08	2,70	0,00	0,00	60,37	81,26	47,81	2,07
	C	56,20	19,27	3,83	14,52	0,00	60,69	90,10	53,50	4,60
	D	71,96	17,41	0,22	7,37	0,00	74,69	95,95	73,59	1,09
	D	73,39	14,76	1,24	8,10	0,00	77,13	96,69	82,86	1,54
	D	55,83	12,19	1,11	29,26	0,00	74,18	97,19	76,79	1,46
	E	70,14	2,26	0,81	9,37	0,00	78,85	80,11	464,38	6,22
	E	56,53	2,44	3,21	16,68	0,00	61,75	72,77	685,25	24,05
	E	50,83	3,47	5,34	18,51	0,00	62,09	69,94	578,60	19,68
	E	61,40	4,37	0,48	23,95	3,53	82,05	90,74	246,45	3,34
SD	A	71,70	5,19	1,19	12,06	0,22	80,88	88,15	267,05	
	D	66,93	15,31	1,40	1,67	0,00	67,99	82,00	82,00	
	D	73,50	10,22	0,71	1,73	0,00	76,12	85,38	133,78	
	F	67,04	4,20	2,05	16,27	0,00	79,98	90,90	209,88	
<b>Médias</b>		<b>65,20</b>	<b>11,08</b>	<b>1,77</b>	<b>10,76</b>	<b>0,64</b>	<b>71,97</b>	<b>86,47</b>	<b>188,84</b>	<b>5,18</b>

Tabela 14 – Comparativo entre os valores de eficiência de campo (e%) encontrados, os citados por Taylor et al. (2002) e Grisso et al. (2002,2004), e os números estabelecidos pela ASAE D497.4 JUN2009.

	Eficiência de Campo (%)		Velocidade (km.h <sup>-1</sup> )	
	Variação	Típica	Variação	Típica
ASAE D497.4 FEB2003	65 – 80	70	3,0 – 6,5	5,0
ENCONTRADA	51,0 – 77,5	65,0	1,3 – 2,4	2,0
Taylor et al. (2001)	29,0 – 75,0	54,0	3,0 – 5,8	4,91
Grisso et al. (2004)	53,2 – 66,9	59,0	-----	-----
Grisso et al. (2002)	35,6 – 69,9	53,5	-----	-----

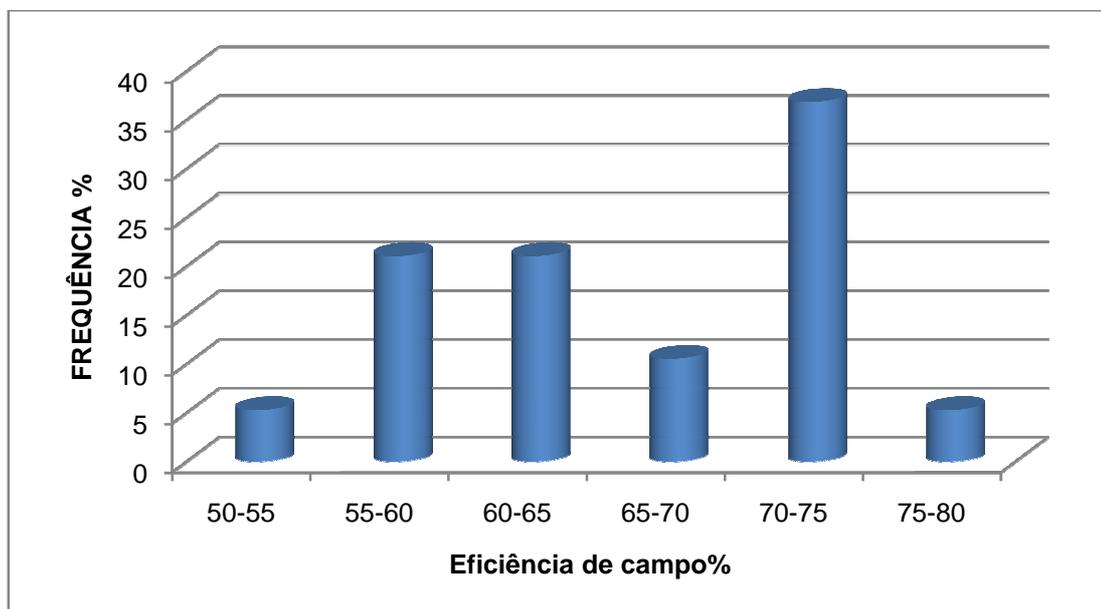


Figura 22 – Distribuição da freqüência da eficiência de campo operacional encontrada.

As eficiências de trajeto, de tempo e da barra de corte tiveram altas relações positivas com a eficiência de campo (e%) (tabela 15), concordando com a afirmação de Witney (1988), que substanciais aumentos na eficiência de campo podem ser conseguidos por uma adequada escolha do percurso a ser executado em uma operação mecanizada. Apesar dos baixos coeficientes de determinação, a confirmação desta ligação positiva entre estas variáveis pode ser observada na figura 23.

Tabela 15 – Coeficiente de correlação encontrado entre a eficiência de campo e as variáveis Ebc%, Et%, ET%, TM%, TDL%, TDC%, TP%, DM e FW.

	Ebc%	Et%	ET%	TM%	TDL%	TDC%	TP%	DM (km.h <sup>-1</sup> )	FW	FW E	TM%E	TDC%C	TP%P
<b>e%</b>	0,59	0,61	0,74	-0,08	-0,69	-0,42	-0,10	-0,62	-0,48	0,03	-0,46	-0,64	-0,66

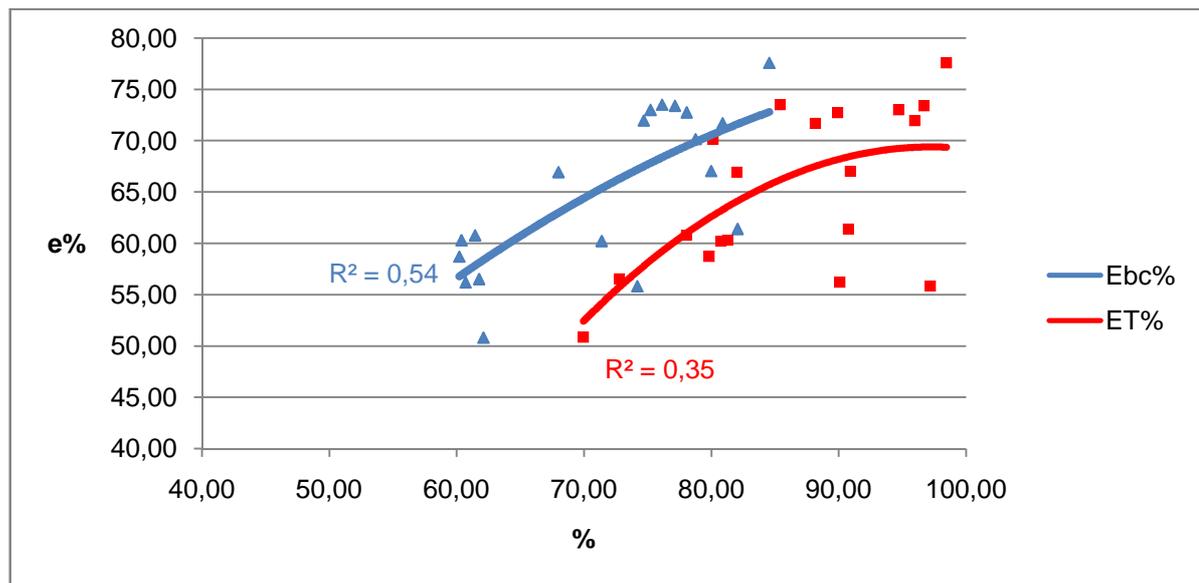


Figura 23 – Tendência das eficiências de trajeto (ET%) e da barra de corte (Ebc%) em relação à eficiência de campo (e%).

O deslocamento médio e o tempo total de deslocamento também mostraram uma alta relação com a eficiência de campo (tabela 15), porém no sentido inverso, confirmando que o aumento dos tempos de descargas e da velocidade de deslocamento reduz a eficiência de campo, o que pode ser percebido nas figuras 24 e 25, que exibem as tendências destas variáveis em relação à eficiência de campo.

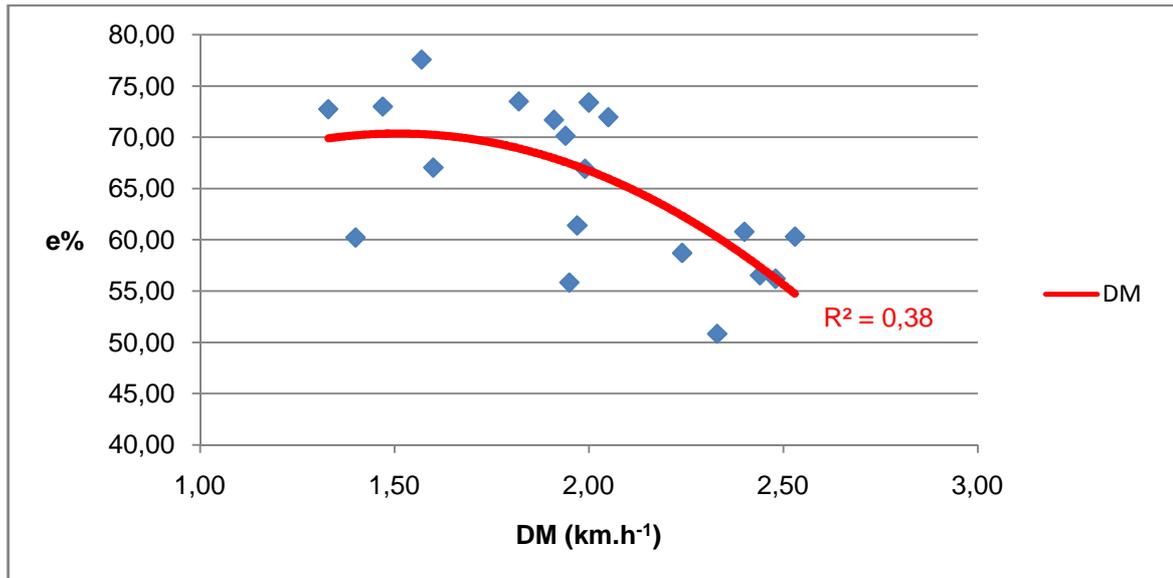


Figura 24 – Tendência do deslocamento médio (DM), em km.h<sup>-1</sup>, em relação à eficiência de campo (e%).

O tempo total de manobras, o tempo total de descargas e o tempo total de problemas apresentaram uma baixa correlação negativa. Porém, quando calculamos o coeficiente de correlação para o tempo total de manobras sem os tempos de manobras da propriedade E (TM% **E**), pois estas lavouras mostraram números que destoaram da média, o coeficiente de correlação para tempo de descargas sem as duas lavouras da propriedade C (TDC% **C**) que não tiveram estes tempos, e o coeficiente para o tempo de problemas só para as operações que enfrentaram algum problema, obtemos um considerável aumento (tabela 15), mostrando que estas variáveis também estão bastante relacionadas com a eficiência de campo. Esta relação também pode ser notada pelas linhas de tendências mostradas na figura 25, que exhibe uma tendência de redução da eficiência de campo com o aumento dos tempos de manobras, descargas e deslocamentos.

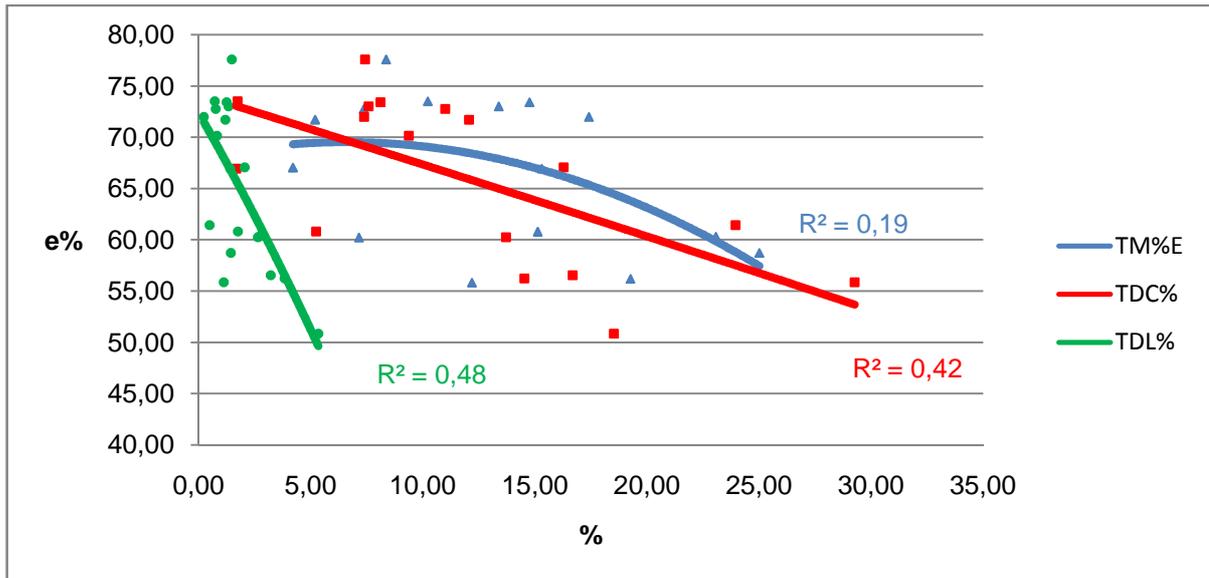


Figura 25 – Tendência dos tempos totais não aproveitáveis de manobras, sem os tempos da propriedade E (TM%E), de descargas, sem os tempos da propriedade C que não tiveram descargas (TDC%C), e os tempos de deslocamentos em relação a eficiência de campo (e%).

O coeficiente de correlação entre a eficiência de campo e a relação comprimento/largura das lavouras com SN foi negativo, -0,48, o que significa que quanto maior a relação F/W menor foi a eficiência de campo, ao contrário da afirmação de Mialhe (1974), figura 16. Esta correlação negativa pode ser explicada através da observação dos valores de eficiência de campo e relação F/W de duas lavouras da propriedade E (tabela 13), onde notamos a existência das maiores relações F/W encontradas, 24,05 e 19,68, no entanto estas mesmas lavouras possuem baixos valores de eficiência de campo, 56,53% e 50,83%, que possivelmente são devido às baixas eficiências de trajeto e barra de corte e também de seus altos valores de deslocamento médio (tabela 8) e não da suas altas relações F/W. Assim, quando é feito o cálculo do coeficiente de correlação para eficiência de campo e relação F/W sem os valores destas duas lavouras obtemos um valor positivo de 0,03 (tabela 15), o que confirma a interferência destas duas lavouras no valor negativo do coeficiente anterior.

A partir do cálculo da eficiência de campo sem os tempos de descargas e problemas (ec%), pôde-se verificar que estes tempos diminuíram em aproximadamente 11,8% a eficiência de campo, ou através de um raciocínio inverso,

a eliminação destes tempos pode causar um aumento de aproximadamente 13,4% na eficiência encontrada no campo (tabela 16 e figura 26).

Tabela 16 – Aumento da eficiência de campo (e%) devido aos tempos de descargas e problemas.

e%	ec%	Diferença	Aumento da e%
65,20	73,9	8,7	13,4

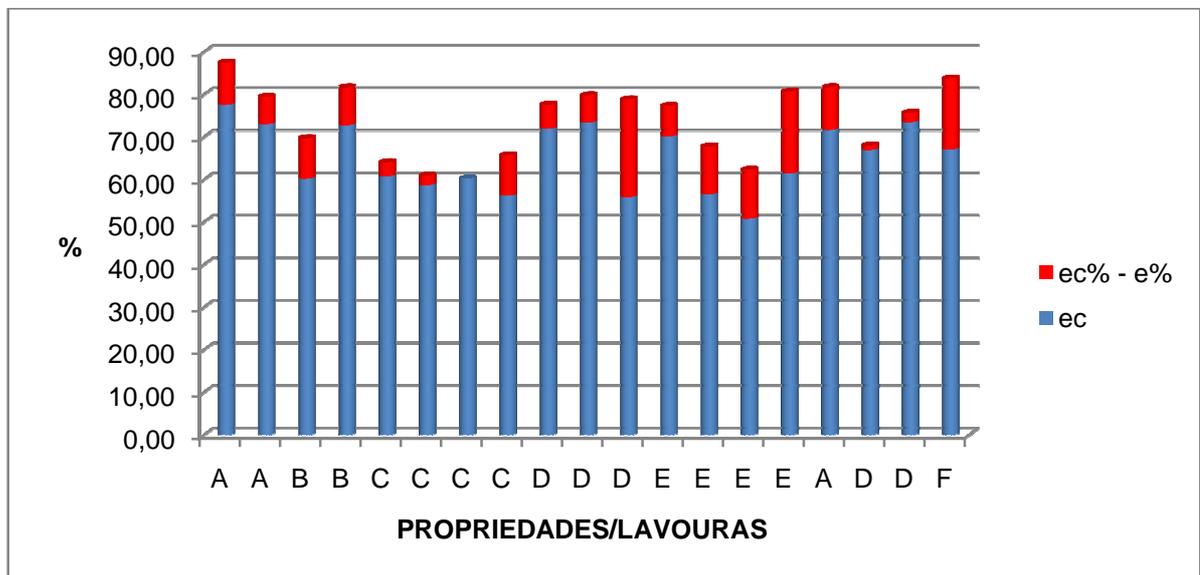


Figura 26 – Aumento da eficiência de campo caso as operações estudadas não tivessem os tempos de descargas e problemas

#### 4.4.3 Eficiência de trajeto e da barra de corte

O padrão de percurso de uma operação, fator fundamental na eficiência de trajeto, foi escolhido pelos próprios operadores, não havendo influência na tomada de decisão dos mesmos, porém todos os operadores utilizaram o mesmo padrão, definido por Witney (1988) e Hunt (2001) como padrão em circuito (figura 27).

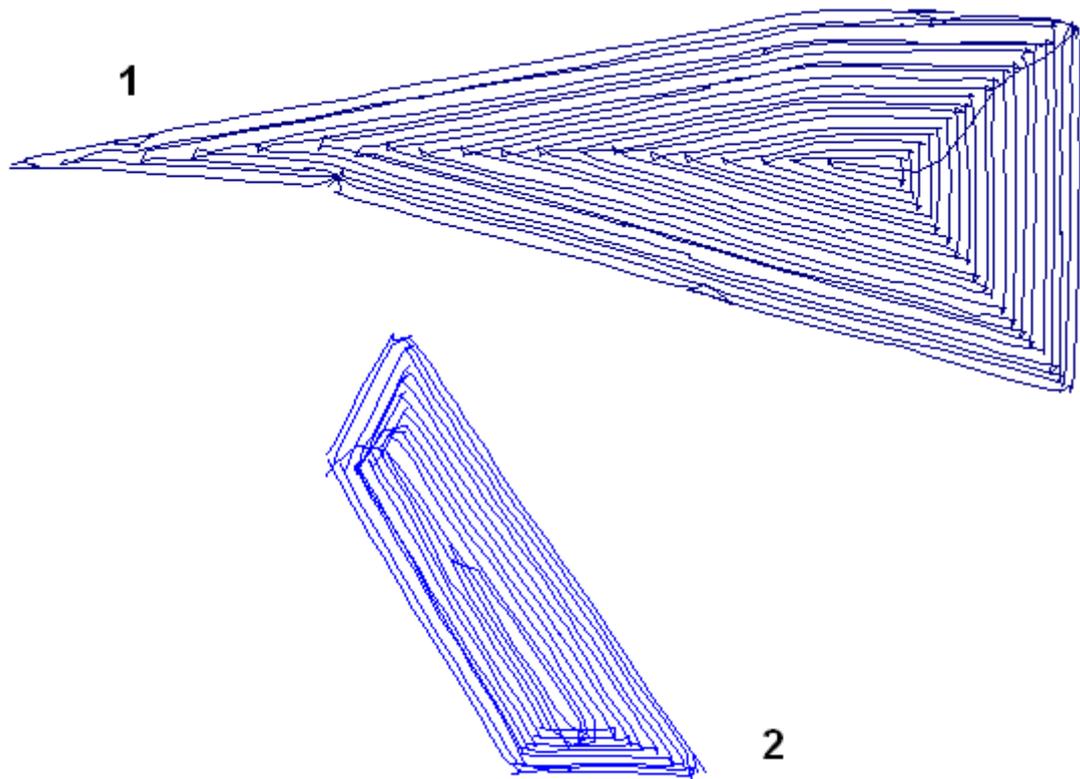


Figura 27 – Padrão de trajeto utilizado por todos os operadores, sendo o número 1, o trajeto de uma operação na propriedade E, e o número 2, trajeto de uma operação na propriedade A.

A eficiência de trajeto e a eficiência da barra de corte estiveram bastante correlacionadas nas operações estudadas, os valores de uma, na maioria das vezes foi acompanhado pelos valores da outra. Essa relação pode ser avaliada através dos números da tabela 18, onde as operações com eficiência de trajeto abaixo de 70% também tiveram uma eficiência da barra de corte baixa, em torno de 80%. A eficiência de trajeto variou de 60,2 a 84,54%, e apresentou média de 72,0%; já a eficiência da barra de corte, variou de 69,94 a 98,45%, com média de 86,47%, sendo que os maiores valores de ambas variáveis ocorreram na lavoura da propriedade A. Esta relação entre as variáveis é confirmada pelo coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ), que obteve um valor positivo de 0,67 (tabela 17), e pela linha de tendência apresentada na figura 28, e pode ser explicada pelo fato de que quanto menor a eficiência na barra de corte, uma maior distância percorrida será preciso para efetuar a operação, o que conseqüentemente reduz a eficiência de

trajeto. Taylor et al. (2002), apresentou valor médio de eficiência da barra de corte, em lavouras de soja e milho, de 93,5%, aproximadamente um valor 8% mais eficiente que a média encontrada na tabela 18.

Tabela 17 – Coeficientes de correlação de Pearson encontrados entre as eficiências de trajeto e barra de corte e as variáveis eficiência de campo (e%), tempo total de deslocamentos (TDL%), deslocamento médio (DM), relação distância percorrida por manobra (DP/M), relação distância percorrida por manobra (DP/M E) sem os dados da propriedade E e relação comprimento/largura das lavouras (F/W).

	<b>ET%</b>	<b>Ebc%</b>	<b>TDL%</b>	<b>DP/M (m)</b>	<b>DP/M E (m)</b>	<b>F/W</b>
ET%	1,0	0,67	-0,64	-0,06	0,70	-0,37
Ebc%	0,67	1,00	-0,58	-0,57	0,16	-0,67

Os maiores coeficientes de correlação de Pearson relacionando as duas eficiências com as demais variáveis estão apresentados na tabela 18. Segundo Grisso et al. (2000), o primeiro objetivo em buscar um trajeto eficiente é diminuir as distâncias percorridas que não são produtivas, como manobras e deslocamentos. Através desta afirmação explicam-se os altos coeficientes encontrados para tempo total de deslocamento, distância percorrida por manobra e relação comprimento largura da lavoura, pois estas variáveis estão diretamente relacionadas às distâncias percorridas.

Tabela 18 – Eficiências encontradas para cada operação, eficiência de campo (e%), eficiência de campo sem os tempos de descargas e problemas (ec%) eficiência de tempo (Et%), eficiência de trajeto (ET%) e eficiência da barra de corte (Ebc%).

<b>Modalidade</b>	<b>Propriedades</b>	<b>e%</b>	<b>ec%</b>	<b>Et%</b>	<b>ET%</b>	<b>Ebc%</b>
<b>SN</b>	A	77,57	87,53	78,80	84,54	98,45
	A	72,99	79,51	77,08	75,22	94,69
	B	60,22	69,78	76,52	71,38	80,76
	B	72,74	81,72	80,90	78,06	89,91
	C	60,78	64,13	77,90	61,44	78,02
	C	58,71	60,97	73,54	60,20	79,83
	C	60,31	60,31	74,22	60,37	81,26
	C	56,20	65,75	62,38	60,69	90,10
	D	71,96	77,69	75,00	74,69	95,95
	D	73,39	79,85	75,91	77,13	96,69
	D	55,83	78,92	57,44	74,18	97,19
	E	70,14	77,39	87,56	78,85	80,11
	E	56,53	67,84	77,68	61,75	72,77
	E	50,83	62,38	72,68	62,09	69,94
	E	61,40	80,64	67,67	82,05	90,74
<b>SD</b>	A	71,70	81,75	81,34	80,88	88,15
	D	66,93	68,07	81,62	67,99	82,00
	D	73,50	75,77	86,08	76,12	85,38
	F	67,04	83,80	73,75	79,98	90,90
<b>Média</b>		<b>65,20</b>	<b>73,9</b>	<b>75,7</b>	<b>72,0</b>	<b>86,5</b>

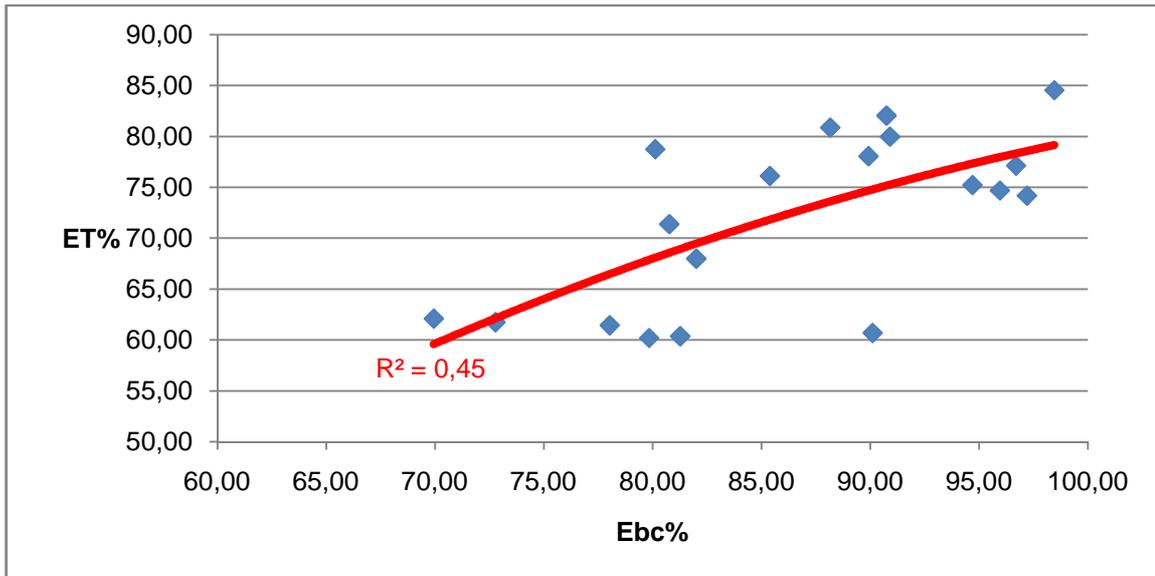


Figura 28 – Tendência da variação da eficiência de trajeto (ET%) em relação à eficiência da barra de corte (Ebc%) e vice-versa.

## 5 CONCLUSÕES

Os valores médios encontrados para as eficiências de campo, tempo, trajeto e barra de corte foram de 65,2%, 75,7%, 72,0%, 86,5% respectivamente, e as suas respectivas variações, do menor para o maior valor, foram 52,8%, 50,9%, 40,8% e 40,7%. A causa destas variações esteve relacionada a diversas variáveis, de ordem operacional e/ou às características geométricas das lavouras.

Para as variáveis estudadas não houve diferença significativa entre as duas modalidades de sistematização, sistematização com nivelamento da superfície do solo em nível e sistematização com nivelamento da superfície do solo em desnível.

Os valores de eficiência de campo encontrados, tanto os limites da variação como a média, ficaram abaixo dos números estabelecidos pela ASAE D497.4 (2009b), porém a média situou-se dentro entre os limites citados pela mesma.

As lavouras sistematizadas com nivelamento da superfície do solo em nível com maior relação comprimento/largura tiveram uma maior relação distância percorrida/manobra, o que se reflete em uma maior eficiência de campo.

As variáveis com maior correlação com a redução das eficiências foram: tempo total de deslocamento para as eficiências de campo e trajeto; o tempo total de descargas para as eficiências de tempo e de campo; o deslocamento médio para a eficiência de campo; e a relação comprimento/largura, para as áreas sistematizadas com nivelamento da superfície do solo, para a eficiência da barra de corte.

A eficiência de trajeto, a eficiência de tempo e a eficiência da barra de corte tiveram alta correlação positiva com a eficiência de campo, porém o maior valor foi para a eficiência de trajeto, o que demonstra a importância do padrão de trajeto para eficiência de campo.

Descargas com a colhedora automotriz em operação e, quando possível, substituir realização de manobras nos vértices das lavouras por trajetos contínuos, mesmo que haja perda na largura de trabalho da barra de corte, são medidas que podem promover aumento da eficiência de campo e de tempo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOCK, R. **Tractor implement systems**. Westport: AVIPublishing Company, 1986. 161p.

ALONÇO, A. S. et al. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 3. Versão Eletrônica. Nov. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap01.htm>> Acesso em: 16 set. 2009.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management** (ASAE D496.2). St. Joseph: ASAE, 2003. P. 366-372.

\_\_\_\_\_. **Agricultural Machinery Management Data** (ASAE D497.6). St. Joseph: ASAE, 2009. P. 350-357.

AZAMBUJA, I. H. V.; VE RNETTI JÚNIOR, F. J. ; MAGALHÃES JR, A. M.. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: Algenor da Silva Gomes; Ariano Martins de Magalhães Júnior. (Org.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, Cap. 1, p. 23-44.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.

\_\_\_\_\_. **Histórico, definições e conceitos básicos**. In: Balastreire, L.A. (81T.). Agricultura de precisão. Piracicaba: Balastreire, L.A., 1998. P.1-8.

BLACKMORE, S. **Precision farming: an overview**. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, p.86-8, 1994.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos do Rio Grande do Sul, safra 2010/2011**. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/detalhe.php?c=19247&t=2#this>> Acessado em: 20 jan. 2011.

DALLMEYER, A.U.; SCHLOSSER, J.F. **Mecanización para 81T agricultura de precisión**. In: BLU, R. O.; MOLINA, L. F. Agricultura de precisión – Introducción al manejo sitio-específico. Chillán-Chile – INIA, 1999. Cap.3, p.75-104.

DEERE & COMPANY. **Measuring machine capacity**. In FMO – Fundamentals of Machine Operation: Machinery Management. Moline, Illinois. 1975. Chapter 2, 28 p.

ERENO, L. H. Z. **Estudo comparativo entre a utilização real e a determinada pelo planejamento da mecanização agrícola em empresas rurais de soja e arroz**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FAO. **A guide to preparing an agricultural mechanization strategy**. Rome: FAO. Roma, 1997. 38 p.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1. 82T., p. 883, 1975.

FERREIRA, O. O. **Avaliação de perdas de tempo das combinadas automotrizes na colheita de soja**. 1983. 34 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1983.

GRISSE, R. D.; JASA P. J.; Rolofson D. E. **Field efficiency determination from spatial data**. In: ASAE Meeting Presentation, no.001013 Wisconsin July 2000.

\_\_\_\_\_. **Analysis of traffic patterns and yield monitor data for field efficiency determination**. Applied Engineering in Agriculture Vol. 18(2): 2002. P.171–178.

GRISSE, R.D. et al. **Field efficiency determination using traffic pattern indices**. Applied Engineering in Agriculture Vol. 20(5): 2004. P. 563–572.

HUNT, D. **Farm power and machinery management** / Donnell Hunt. : Iowa state press, 2001. 368p.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Censo da lavoura de arroz irrigado no RS safra 2004/2005**, 2005. 122p. Disponível em: <[82TTP://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1292592973censodg3.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1292592973censodg3.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2010.

IRGA. **Instituto Rio Grandense do Arroz**. Porto Alegre, RS. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/index.php?principal=1&secao=999&id=120&menuP=120&key=3>>Acesso em: 12 set. 2009

KALSIRISILP, R. **Performance evaluation of a Thai-made rice combine harvester**. Agricultural machinery and equipment. Bangkok, 1993. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agrissearch/search/display.do?f=2000/TH/TH00013.xml;TH1998001215>>. Acesso em: 01 de novembro d 2008.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MOLIN, J. P. **Utilização de GPS em agricultura de precisão**. Engenharia Agrícola, v. 17, n. 3, p. 121-132, 1998

MOLIN, J. P. et al. **Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada**. Eng. Agríc. , Jaboticabal, v. 26, n. 3, 2006.

MORGAN, M. **The precision-farming guide for agriculturists**. Moline: Deere &Company, 1997. 116 p.

PARFITTI, J.M.B. et al. **Estruturação e sistematização da lavoura de arroz irrigado**. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. P.237–257.

PERIN, G. F. **Determinação da capacidade e eficiência operacional utilizando técnicas de agricultura de precisão**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

RENOLL, E. S. 1981. **Predicting machine field capacity for specific field and operating conditions**. *Transactions of the ASAE* 24(1): p. 45–47.

ROY, S. K. et al. Performance evaluation of a combine harvester In 83TTP83sian paddy field. **Institute of Bioscience, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, 2003**. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=2000%2FTH%2FTH00013.xml%3BTH1998001215>> Acesso em: 28 fev 2009

SILVEIRA, G. M. **Mecanização: Custo horário das máquinas agrícolas**. DBO Agrotecnologia, São Paulo, v. 4, p. 26 – 29. 2005.

SILVEIRA, Gastão M. da; YANAI, Kyoshi; KURACHI, Sergio A. H. **Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo**. Rev. 83TTP. Eng. Agríc. Ambient. , Campina Grande, v. 10, n. 1, 2006.

SILVEIRA, G. M. et al. **Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo.** Rev. 84TTP. Eng. Agríc. Ambient. , Campina Grande, v. 10, n. 1, 2006. Disponível em: <84TTP://www.scielo.br/>. Acesso em: 31 dez. 2008.

\_\_\_\_\_. **Sistema de aquisição automática de dados para o gerenciamento de operações mecanizadas.** Bragantia, Campinas, v. 64, n. 2, 2005 . Disponível em: <84TTP://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052005000200018&script=sci\_arttext>. Acesso em: 07 nov 2009.

SOSBAI. Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Bento Gonçalves, 2010. 188p. Disponível em: <<http://www.sosbai.com.br/recomendacoes.php>>. Acesso em: 23 set. 2009.

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. 3p. 2001.

TAYLOR, R. K., **Using GPS Technology to Evaluate Corn Planter Performance.** Annual International Meeting Sponsored by ASAE. Sacramento, California, USA, 2001.

TAYLOR, R. K.; SCHROCK, M.D.; STAGGENBORG, S.A. **Extracting machinery management information from GPS data.** St. Joseph: ASAE, 2002. 9p. (ASAE Paper, 021008).

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. **Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens.** In: Cienc. Rural vol.32 no.1, p. 159-163, Santa Maria. 2006.

TULU, M.Y., et al. 1974. **Timeliness costs and available working days – shelled corn.** *Transactions of the ASAE* 17(5)- 798-800, 804.

WITNEY, B. **Choosing and using farm machines.** Essex: Longman Scientific and Technical, 1988. 412 p.

## 7 APÊNDICES

### Apêndice A – Caderneta de campo

<b>DADOS DA PROPRIEDADE</b>	
<b>NOME DA PROPRIEDADE:</b>	
<b>NOME DO PROPRIETÁRIO:</b>	
<b>MUNICÍPIO:</b>	
<b>LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA:</b>	
<b>LATITUDE:</b>	
<b>LONGITUDE:</b>	
<b>MODALIDADE SISTEMATIZAÇÃO:</b>	
<b>INÍCIO DA COLHEITA:</b>	
<b>DADOS COLHEDORA</b>	
<b>MARCA:</b>	
<b>MODELO:</b>	
<b>COM ROTOR:</b>	
<b>SEM ROTOR</b>	
<b>LARGURA BARRA DE CORTE (m):</b>	
<b>DADOS DA OPERAÇÃO</b>	
<b>DIA DA COLHEITA:</b>	
<b>HORA DO INÍCIO:</b>	
<b>HORÁRIO DO FIM:</b>	
<b>DISTÂNCIA PERCORRIDA:</b>	
<b>DESLOC. MÉDIO (km/h)</b>	
<b>NÚMERO DE MANOBRAS:</b>	
<b>TEMPOS</b>	
<b>TEMPO TOTAL (s):</b>	
<b>TEMPO TOTAL DE MANOBRAS (s):</b>	
<b>TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s):</b>	
<b>TEMPO TOTAL DE DESCARGAS (s):</b>	
<b>TEMPO TOTAL DE DESEMBUCHAMENTO (s):</b>	
<b>TEMPO TOTAL SEM PROBLEMAS (s):</b>	



## Apêndice B – Dados estatísticos do teste F

Variável analisada: **Eficiência de campo (e%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	28.324890	28.324890	2.074	0.2233
BLOCO	4	156.064200	39.016050	2.856	0.1668
erro	4	54.636360	13.659090		
Total corrigido	9	239.025450			
CV (%) =	5.52				
Média geral:	66.9250000	Número de observações:	10		

Variável analisada: **Eficiência de campo sem os tempos de descargas e proplemas (ec%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	117.717610	117.717610	2.129	0.2183
BLOCO	4	144.799460	36.199865	0.655	0.6543
erro	4	221.176740	55.294185		
Total corrigido	9	483.693810			
CV (%) =	9.58				
Média geral:	77.5830000	Número de observações:	10		

Variável analisada: **Eficiência de trajeto (ET%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	96.845440	96.845440	2.703	0.1755
BLOCO	4	119.379140	29.844785	0.833	0.5682
erro	4	143.337860	35.834465		
Total corrigido	9	359.562440			
CV (%) =	7.93				
Média geral:	75.4640000	Número de observações:	10		

Variável analisada: **Eficiência de tempo (Et%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	12.904960	12.904960	1.877	0.2426
BLOCO	4	146.510660	36.627665	5.327	0.0671
erro	4	27.505540	6.876385		
Total corrigido	9	186.921160			
CV (%) =	3.44				
Média geral:	76.1520000	Número de observações:	10		

Variável analisada: Eficiência de tempo sem os tempos de descargas e problemas (Et%)

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	81.567360	81.567360	2.292	0.2046
BLOCO	4	87.351860	21.837965	0.614	0.6761
erro	4	142.335940	35.583985		
Total corrigido	9	311.255160			
CV (%) =	6.76				
Média geral:	88.1820000	Número de observações:	10		

Variável analisada: % Tempo total de manobras (TTM%)

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	67.808160	67.808160	1.747	0.2568
BLOCO	4	84.819640	21.204910	0.546	0.7138
erro	4	155.279240	38.819810		
Total corrigido	9	307.907040			
CV (%) =	71.48				
Média geral:	8.7160000	Número de observações:	10		

Variável analisada: **% Tempo total de manobras sem tempos de descargas (TTMc%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	139.054410	139.054410	2.862	0.1659
BLOCO	4	96.683540	24.170885	0.498	0.7422
erro	4	194.314340	48.578585		
Total corrigido	9	430.052290			
CV (%) =	78.57				
Média geral:	8.8710000	Número de observações:	10		

Variável analisada: **Eficiência da barra de corte (Ebc%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	4.329640	4.329640	0.101	0.7660
BLOCO	4	156.849300	39.212325	0.919	0.5317
erro	4	170.687860	42.671965		
Total corrigido	9	331.866800			
CV (%) =	7.31				
Média geral:	89.3200000	Número de observações:	10		

Variável analisada: **% Tempo total de Descargas (TTDC%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	3.931290	3.931290	0.098	0.7704
BLOCO	4	48.554060	12.138515	0.301	0.8641
erro	4	161.212260	40.303065		
Total corrigido	9	213.697610			
CV (%) =	59.68				
Média geral:	10.6370000	Número de observações:		10	

Variável analisada: **% Tempo total de deslocamentos(TTDL%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	0.278890	0.278890	1.602	0.2744
BLOCO	4	1.751740	0.437935	2.515	0.1967
erro	4	0.696460	0.174115		
Total corrigido	9	2.727090			
CV (%) =	26.10				
Média geral:	1.5990000	Número de observações:		10	

-----  
 Variável analisada: **% Tempo total de deslocamentos (TTDLc%)**

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
 -----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	1	0.324000	0.324000	1.180	0.3384
BLOCO	4	2.544260	0.636065	2.317	0.2179
erro	4	1.098100	0.274525		
Total corrigido	9	3.966360			
CV (%) =	28.44				
Média geral:	1.8420000	Número de observações:	10		