

PLANEJAMENTO DE SISTEMAS MECANIZADOS AGRÍCOLAS

M. Milan

Depto. Engenharia de Biosistemas

macmilan@esalq.usp.br

PIRACICABA

JANEIRO 2013

1- INTRODUÇÃO

O setor agrícola tem se deparado com um rápido aumento nos custos dos insumos o que ocasiona a redução na rentabilidade do negócio. Uma análise crítica dos custos envolvidos e a definição das prioridades para minimizá-los, sem que isso afete a produtividade das culturas, é uma forma de se evitar a perda da rentabilidade. O sistema mecanizado agrícola, 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 se atuar na redução dos custos, pois ele pode representar, dependendo da cultura, de 20 a 40% dos custos de produção.

O planejamento de um sistema mecanizado é considerado como um problema complexo envolvendo conhecimentos da área biológica, engenharia e da economia. Um sistema deve atender as necessidades de implantação, condução e retirada da cultura, estando sujeito à influência de fatores externos como o solo e o clima. Se o planejamento for efetuado de maneira restrita ele pode melhorar o desempenho de uma ou mais operações, mas isso não implica que essa melhoria seja refletida no total. O planejamento e a seleção podem ser realizados de diversas formas, devendo abranger, basicamente, o dimensionamento e a seleção dos equipamentos, máquinas e implementos, e a previsão dos custos que o sistema representará para a atividade agrícola.

A partir do início da década de 1980 e, ao longo dela, os modelos de planejamento e seleção de sistemas mecanizados tiveram um desenvolvimento muito grande com o advento do uso dos microcomputadores. Esse desenvolvimento pode ser atribuído à capacidade de processamento dos microcomputadores e a possibilidade de se estabelecer interações entre as inúmeras variáveis envolvidas. A relativa facilidade para a estruturação e a rapidez dos cálculos, permitindo realizar várias simulações em curto espaço de tempo, se tornou um atrativo para a aplicação na área de pesquisa e também na atividade diária, embora com muito menos de ênfase para esse última.

O desenvolvimento de um modelo computacional é realizado, basicamente, pela construção de um algoritmo, seqüência de instruções logicamente dispostas, onde são dispostos os conceitos e relações que envolvem o problema. O algoritmo é transformado no programa, codificando-se as instruções de acordo com as instruções da linguagem a ser utilizada, permitindo ao computador interpretar a seqüência de cálculos e decisões. O programa é então verificado quanto a erros, durante e após a sua construção e validado. Uma das maneiras de se validar é comparar os resultados com os dados reais de uma situação, quer seja no resultado final ou ao longo das etapas intermediárias do programa. Após a verificação e validação o modelo passa a ser utilizado para realizar as simulações que permitem avaliar o problema sob diversas maneiras e dentro das condições de contorno impostas pelo algoritmo.

2- CONCEITOS BÁSICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS PARA O PLANEJAMENTO E SELEÇÃO DE SISTEMAS MECANIZADOS.

A estruturação de um algoritmo, a ser utilizado na a seleção e dimensionamento de sistemas mecanizados, pode ser realizada em etapas que devem ser interligadas para a obtenção dos resultados desejados. Dentro desse conceito de etapas, a adaptação da metodologia originalmente proposta por Mialhe (1974), Figura 1, é uma alternativa para o desenvolvimento de um algoritmo para a seleção e o dimensionamento de sistemas mecanizados.

Na Figura 1, o processo se inicia pela necessidade em adquirir as máquinas (1) para atender uma nova área agrícola ou expansão, ou para a substituição, parcial ou total, da frota atual. A etapa seguinte é denominada de análise operacional que consta do levantamento das operações a executar (2) e a definição da época prevista para a realização das mesmas (3), prazo inicial e o final. Na etapa de planejamento para a seleção define-se o tempo disponível (4) para cada operação, calcula-se o ritmo operacional necessário (5) e a estimativa do número de conjuntos¹ (6). A estimativa do número de conjuntos é calculada com base no ritmo operacional, quantidade de trabalho a ser realizada, e na capacidade de trabalho (7), quantidade de trabalho (8) que pode ser realizada pela máquina na unidade de tempo (9) levando-se em conta a eficiência

¹ Associação entre uma fonte de potência, trator, e o implemento ou máquina.

(10). A eficiência depende do equipamento e das condições de operação. A quantidade de trabalho e o tempo para realizar a operação têm estreita ligação com a potência disponível e requerida (11). No mercado existem diferentes opções de marcas e modelos de máquinas agrícolas que podem ser selecionadas para atender a demanda. A associação da capacidade operacional com os custos diretos e indiretos (12) determina o custo operacional (13). O número de conjuntos requeridos, com as suas especificações técnicas, e a análise do custo operacional compõe o cenário básico para a decisão da aquisição do sistema mecanizado (14) ou da necessidade de reavaliação das alternativas para o sistema de produção e /ou das máquinas agrícolas selecionadas.

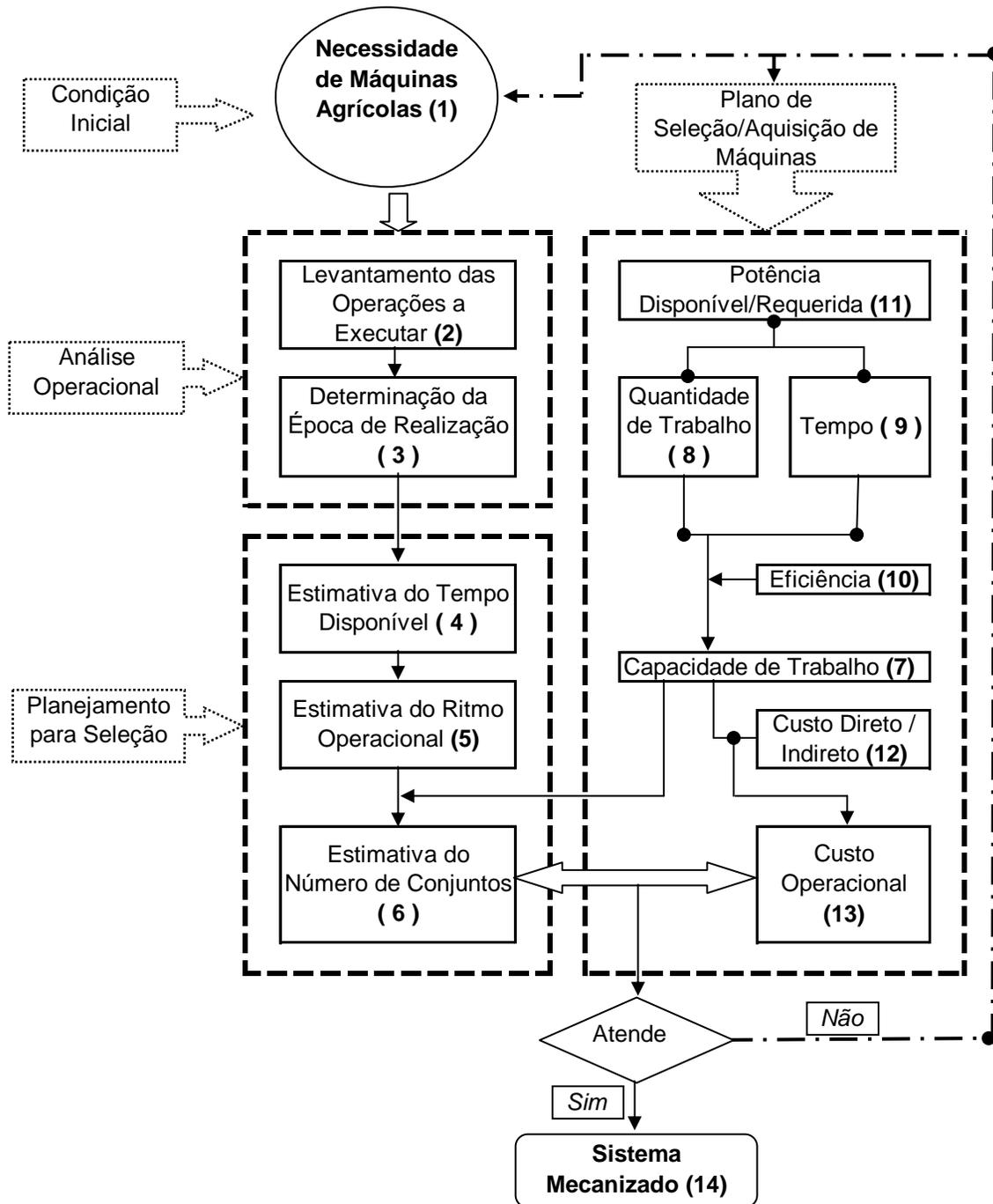


Figura 1- Fluxograma de um processo geral para a construção de um algoritmo para a seleção de um sistema mecanizado agrícola. (Adaptado de Mialhe 1974)

2.1.- Análise operacional

A análise operacional é a base para a definição do sistema de produção a ser adotado para atender as características e necessidades da propriedade. O sistema de produção pode ser entendido como um conjunto de práticas agrícolas seqüenciais que viabilizam a produção de uma cultura. As práticas devem ser adequadas para a preservação do ambiente e permitindo com que as metas empresariais, qualitativas e quantitativas, sejam atingidas. Se for adotado o plantio direto ou o preparo convencional, se for uma cultura perene ou anual, se o clima e o solo são favoráveis ao desenvolvimento de uma determinada variedade, são fatores que dependem da análise realizada pelos técnicos responsáveis pelo empreendimento. Uma das formas de apresentação dos resultados é através do Gráfico de Gantt, Figura 2.

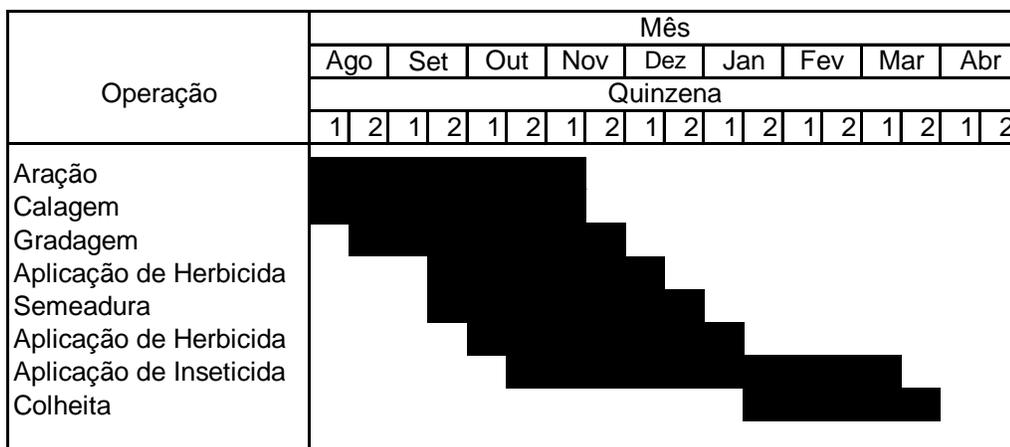


Figura 2- Análise operacional, operações a serem executadas e época de realização, para um sistema de produção hipotético.

O gráfico apresentado na Figura 2 fornece as datas e as operações a serem realizadas. O que o caracteriza é que nele o trabalho a ser executado e a sua relação com o tempo é mostrado no mesmo espaço. O conceito do gráfico foi desenvolvido durante a Primeira Grande Guerra por Henry L. Gantt, um dos pioneiros da administração científica, e que até os dias atuais vem sendo aplicado nas mais diversas áreas, da indústria à agricultura.

2.2- Planejamento para a seleção

No planejamento para a seleção utiliza a análise operacional, onde foram definidas as operações e as épocas de realização, para o cálculo do número de conjuntos. É necessário estimar o tempo disponível que são as horas que a máquina pode trabalhar em função das condições edafo-climáticas, cultura e do regime de trabalho adotado. Os tempos disponíveis associado à área a ser trabalhada, fornece o ritmo operacional que expressa a quantidade de trabalho a ser realizado na unidade de tempo.

2.2.1- Estimativa do tempo disponível

O tempo disponível para a realização das operações agrícolas depende basicamente do número de dias totais reservados para a operação, dos dias de descanso e impróprios para o trabalho das máquinas e da jornada de trabalho, equação 01, adaptada de Mialhe (1974):

$$TD = \{[Nt - (Ndf + Nui)] \times (Jt \times Eg)\} \quad (01)$$

Em que: TD é o tempo disponível para realizar cada operação em horas;

Nt é o número de dias contido no período determinado para a realização da operação;

Ndf é o número de domingos e feriados, quando respeitados, existentes no período;

Nui é o número de dias úteis impróprios ao trabalho das máquinas;

Jt é a jornada de trabalho adotada em horas;

Eg é a eficiência gerencial ou administrativa.

A jornada de trabalho (Jt) e os dias de descanso remunerados (Ndf) devem estar de acordo com o sistema de trabalho da propriedade, mas não deixando de levar em conta a legislação vigente. É importante ressaltar que a grande dificuldade para o planejamento do número de conjuntos está relacionada com a estimativa do número de dias impróprios - Nui.

a)- Numero de dias impróprios (Nui)

O clima e a umidade do solo são os dois fatores que determinam o número de dias disponíveis, e conseqüentemente dos dias impróprios, de trabalho da maquinaria ao longo do ano. A variabilidade climática traz consigo as incertezas para o dimensionamento dos equipamentos necessários. As alternativas encontram-se entre dimensionar a frota para atender as condições mais críticas, o que traz como conseqüências a pouca utilização em anos normais e, conseqüentemente, aumento nos custos ou dimensionar para os anos favoráveis, reduzindo o investimento e aumentando o retorno, mas aumentando os riscos de perdas da cultura por não se realizar as operações dentro dos prazos estipulados.

O fator mais considerado para o calculo dos dias disponíveis é aquele que se refere à traficabilidade das máquinas agrícolas e a sua operacionalidade, principalmente para as operações de preparo do solo. Existem outros fatores que influenciam na realização ou não das operações dentre eles os mais importantes referem-se às operações de colheita e pulverização. No caso da colheita, além da umidade do solo, a umidade relativa do ar interfere na realização, como é o caso da colheita de soja. Para a pulverização, a velocidade do vento e a temperatura ambiente podem limitar a aplicação principalmente pela evaporação e deriva do produto. Outro fator ligado mais a qualidade da operação do que à traficabilidade refere-se à falta de umidade como é o caso das operações de preparo do solo. Se a semeadura for realizada em condições desfavoráveis de ausência de umidade adequada no solo, haverá prejuízo para a germinação da cultura e conseqüentemente para a produtividade.

Para o calculo dos dias impróprios, Mialhe (1974) utilizou-se do critério de seca agrônômica originado da irrigação. O autor discute que quando o solo está em capacidade de campo existe restrição ao trabalho das máquinas e em seca agrônômica, fora da capacidade de campo, o trabalho pode ser realizado. No caso o critério não abordou as restrições referentes à falta de umidade do solo, ventos ou umidade relativa do ar.

Os dias úteis impróprios representam o ponto crucial de todo o processo de modelagem e a importância do tema justifica, segundo a opinião do autor deste trabalho, o desenvolvimento de linhas de pesquisa voltadas para essa área. Poucos trabalhos de pesquisa no país se preocupam com o fato, podendo ser citado o trabalho de De'Carli (1994) que utiliza o balanço hídrico para

estabelecer níveis críticos de armazenamento de água para a traficabilidade de máquinas e colheita de cereais.

b)- Eficiência de gerenciamento

A eficiência de gerenciamento ou administrativa pode ser interpretada como um fator de correção para a jornada de trabalho da empresa. Embora previsto que a jornada deva durar um determinado número de horas as perdas de tempo associadas a falhas administrativas concorrem para a redução dessa jornada. Atrasos na entrega de insumos ou no reparo das máquinas, tempos desperdiçados pelo operador, erros na alocação de máquinas compõe alguns dos fatores associados à eficiência de gerenciamento, não podendo ser atribuídos às máquinas.

2.2.2- Estimativa do ritmo operacional

Definido o tempo disponível a próxima fase é o cálculo do ritmo operacional (RO), que vem a ser a razão entre a quantidade de trabalho a ser realizado dentro do tempo disponível para cada operação e calculado como:

$$RO = \frac{At}{TD} \quad (02)$$

Em que: RO é o Ritmo operacional em ha.h⁻¹;

At é a área a ser trabalhada em hectares (ha).

Até esse ponto definiu-se o sistema de produção, as operações e épocas de realização de cada uma. A somatória do ritmo operacional mensal, semanal ou diário, estabelece a quantidade total de trabalho a ser realizada no período de tempo adotado para cada operação e conjunto mecanizado.

2.2.3- Número de Conjuntos

A próxima fase é a determinação do número de conjuntos ou máquinas necessárias para atender as operações dentro do tempo disponível que é calculado como:

$$NC = \frac{RO}{CT} \quad (03)$$

Em que: NC é o número de conjuntos;

CT é a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas (ha.h^{-1}).

A capacidade de trabalho é a razão entre a quantidade de trabalho realizada pela máquina ou conjunto na unidade de tempo. A razão entre a quantidade de trabalho a realizar, ritmo operacional, e a capacidade de trabalho determina o número necessário de conjuntos ou máquinas para a realização da operação.

2.3- Seleção e Aquisição de Máquinas.

O processo de seleção e aquisição de máquinas agrícolas pode ser analisado sobre vários aspectos, desde a preferência pessoal passando pela recomendação prática e conceitualmente através do dimensionamento técnico e o econômico. No dimensionamento técnico o que se busca é especificar as características das máquinas que vão atender às necessidades exigidas pelo sistema de produção e o econômico avalia os custos envolvidos, ponto fundamental para o cálculo do retorno da atividade. O dimensionamento técnico envolve basicamente a determinação da capacidade de trabalho e da potência necessária para a realização das operações e o econômico o cálculo do custo por unidade trabalhada, área ou do produto.

2.3.1- Capacidade e eficiência da maquinaria agrícola

O planejamento e o controle adequado dos sistemas mecanizados exigem informações adequadas com relação à capacidade de trabalho o que nem sempre é possível. Enquanto que em outras áreas da engenharia como, por exemplo, na área mecânica, o desempenho dos equipamentos pode ser obtido com razoável grau de precisão, nas atividades agrícolas isso nem sempre é possível. Fatores como topografia, tipo de solo, clima, variações no material a ser trabalhado interferem na capacidade de trabalho e conseqüentemente no planejamento dos sistemas.

Segundo Hunt (1973) a capacidade quando expressa somente como a razão entre a área pelo tempo despendido pode não ser um indicador adequado para avaliar o desempenho de equipamentos agrícolas. No caso das colhedoras as diferenças de produtividade da cultura afetam a capacidade de trabalho. Para as máquinas que operam com a separação de material, como é o caso das beneficiadoras, o interesse é na quantidade de material separado pela unidade de tempo.

A análise da capacidade de trabalho das máquinas agrícolas pode ser realizada de acordo com as características das operações sendo classificadas de acordo com Mialhe (1974) em capacidade: de campo; de produção; de manipulação. A capacidade de campo, é aplicada a máquinas e implementos que, para executarem uma operação agrícola, devem se deslocar cobrindo uma determinada área. A capacidade de produção é relacionada com máquinas cujo trabalho é medido em termos de volume ou massa de produto por unidade de tempo enquanto que a capacidade de manipulação está associada com a separação de materiais. A capacidade de campo é dividida em capacidade de campo teórica, efetiva e operacional sendo que o mesmo conceito pode ser aplicado à capacidade de manipulação e de produção. Segundo o autor a capacidade de campo teórica pode ser calculada como equação 04:

$$CCT = Lc \times vd$$

(04)

Em que: CCT= Capacidade de campo teórica;

Lc= Largura de corte teórica da máquina

vd= velocidade de deslocamento teórica da máquina

A capacidade de campo efetiva, é calculada de acordo com a equação 05:

$$CCE = \frac{At}{Tp}$$

(05)

Em que: CCE= Capacidade de Campo Efetiva

At= Área trabalhada

Tp= Tempo de produção

A capacidade de campo operacional, é calculada de acordo com a equação 06:

$$CCO = \frac{At}{TM}$$

(06)

Em que: CCO= Capacidade de campo operacional

TM=Tempo máquina.

O tempo máquina calculado como a somatória dos tempos de preparação, interrupção e de produção:

$$TM = TP + TI + TPr \quad (07)$$

Em que: TP= Tempo de produção

TI= Tempo de interrupção

TPr= tempo de preparo

Define-se o tempo de preparo (TPr) como o tempo consumido no preparo da máquina para entrar em operação e para deixá-la em condições de ser armazenada no galpão após a operação e envolvendo os tempos de: acoplamento, desacoplamento, deslocamento para a área de trabalho, regulagens para entrar e limpeza após a operação, controle e manutenção. Já o tempo de interrupção (TI) é aquele gasto em interrupções decorrentes do próprio trabalho da máquina quando em operação em campo, envolvendo: manobras de cabeceira, desembuchamentos, ajustes em operação reabastecimento e descarga de produtos. O tempo de produção (TP) é aquele efetivamente consumido no trabalho para o qual a máquina foi projetada.

A ASAE (1998a) define como capacidade teórica de campo quando uma máquina está desenvolvendo a função para a qual foi projetada, a uma dada velocidade e usando toda a sua largura teórica. Já a capacidade de campo efetiva é calculada como a razão entre a área ou cultura processada pela unidade de tempo. A eficiência de campo é definida como a razão entre a capacidade efetiva e a teórica. Balastreire (1987) adota o mesmo critério da ASAE para definir a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas

Witney (1988) define a capacidade das máquinas em termos muito semelhantes aos apresentados por Mialhe (1974) e pela ASAE (1998a): “área capacity”; “troughput capacity” e “total troughput capacity”. A primeira relacionada com área, a segunda ligada ao produto e a terceira em termos do fluxo de material que passa pela máquina respectivamente.

As definições apresentadas têm como foco principal a análise do desempenho da máquina mas, para o planejamento, muitas vezes é interessante avaliar as capacidades / eficiências envolvidas que incluam os aspectos administrativos / gerenciais e climáticos como é o caso da proposta apresentada na Figura 4 por Witney (1998).

A capacidade instantânea refere-se ao tempo em que a máquina está realizando a operação para a qual foi projetada. A capacidade total seria aquela em que o tempo considerado leva em conta as manobras, abastecimentos e regulagens que embora não façam parte da operação, são necessárias para que a máquina opere. Já a capacidade safra é aquela em que estão incluídos outros tempos que não dependem da operação em si, mas mais voltados a administração e gerenciamento do sistema. A de calendário inclui os tempos referentes às condições climáticas, de solo e da cultura e que em geral não podem ser controladas.

O trabalho de Gonçalves et al (1993) discute, de uma forma muito apropriada, uma metodologia para análise de tempos e eficiências das máquinas agrícolas sob um enfoque sistêmico e gerencial. Os autores definem os tempos em produtivos, acessórios, auxiliares, inaptidão e perdidos. O tempo produtivo é aquele associado à máquina quando ela está efetivamente realizando a operação para a qual foi projetada. O tempo acessório corresponde aos tempos ativos da máquina despendidos com funções auxiliares obrigatoriamente exigidas pelas operações, ex. manobras, e o auxiliares relacionado com tempos obrigatórios mas não ativos, ex. abastecimento de insumos. O tempo inativo é aquele associado às condições ambientais que impedem o trabalho da máquina e os perdidos são associados à administração e gerenciamento. Com esses tempos é possível avaliar as eficiências das máquinas, desde àquelas referentes somente ao trabalho até as que definem o aproveitamento da máquina ao longo das 24 horas do dia.

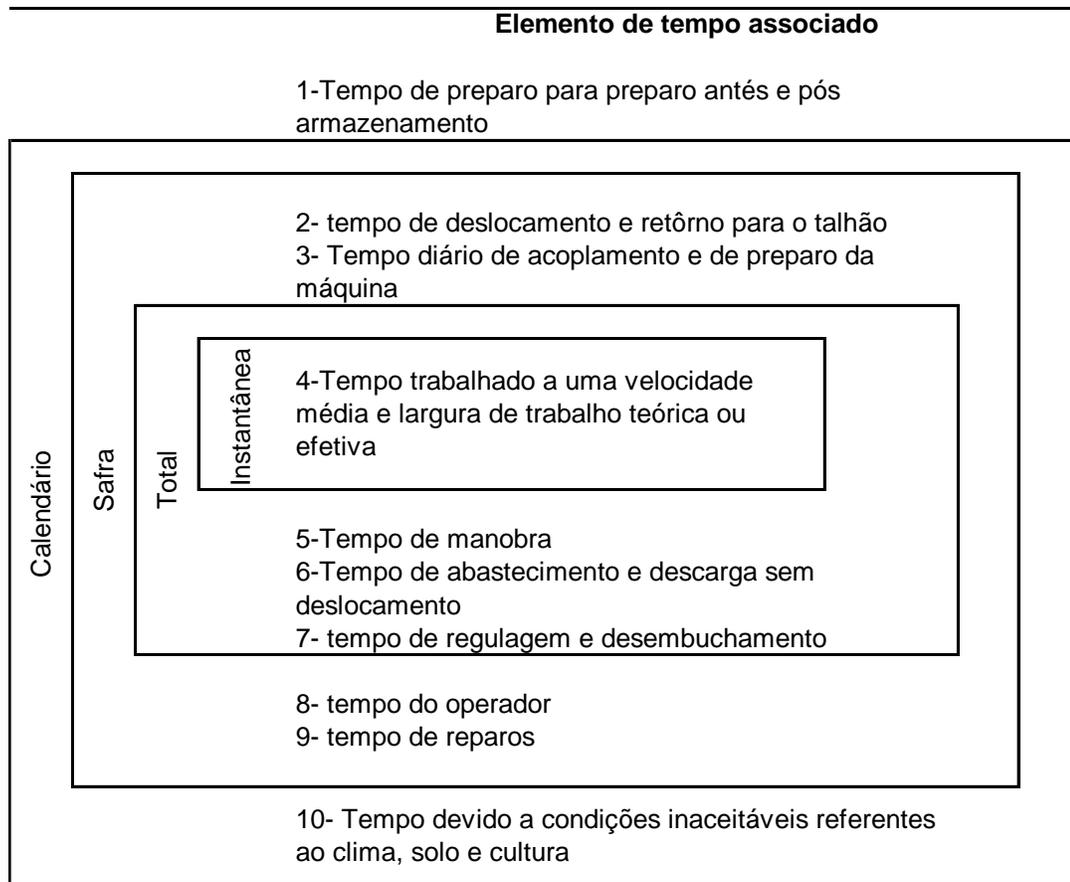


Figura 4- Tempos associados às diferentes capacidades de trabalho. Adaptado de Witney (1988)

O número de conjuntos necessários para cada operação e época é calculado através da equação 08:

$$NC = \frac{RO}{CCO} \quad (8)$$

Em que: NC é o número de conjuntos

Nesse ponto é interessante se estabelecer uma analogia entre a Figura 4 e a equação (8). Na equação, no cálculo do ritmo operacional, razão entre a área a ser trabalhada e o tempo disponível, está incluído a influência do clima através do número de dias úteis impróprios (Nimp) e as perdas referentes aos problemas administrativos, através da eficiência de gerenciamento (Eg). No cálculo da capacidade de campo operacional incluem-se os fatores de tempo associados à máquina. Na Figura 4, o tempo disponível está representado no tempo associado ao calendário, o administrativo no referente à safra e os tempos da máquina nos tempos associados ao total e instantâneo.

A capacidade de campo operacional de um conjunto trator implemento/máquina está intrinsecamente relacionado com a potência disponível pelo trator. Basicamente é a potência quem vai determinar as características como, por exemplo, a velocidade e profundidade de trabalho e a largura ou número de hastes do implemento/máquina. Como a profundidade de trabalho está associada às necessidades da cultura e a velocidade de trabalho à qualidade da operação, a seleção do conjunto, de um modo simplificado, deve definir as características do implemento a partir da potência do motor ou ao contrário, das características do implemento obter-se a necessidade de potência

2.3.2- Potência Disponível (PDBT) e Requerida (PRBT) na Barra de Tração

Um dos pontos fundamentais do planejamento refere-se ao cálculo da potência fornecida pelo trator agrícola na barra de tração (PDBT) e a potência exigida na barra de tração pelo implemento (PRBT), com o objetivo de obter o conjunto mais adequado para a realização das operações. Segundo Molin e Milan (2002) existem uma grande quantidade de fatores que interferem na capacidade de tração de um veículo e considerando-se que o trator que opera sobre o solo agrícola, esse número de variáveis aumenta. De acordo com os autores, dos modelos utilizados para a determinação da potência disponível na barra de tração de tratores o mais simplificado pode ser considerado o proposto pela ASAE (1998a). Esse modelo tem origem na regra .86 (“thumb rule”) proposta por Bowers (1978), Figura 5.

Na Figura 5 observa-se que a partir da potência bruta do motor obtém-se a potência disponível na tomada de potência (TDP) computando-se as perdas relativas aos órgãos internos. A partir da TDP as perdas são computadas com base no dispositivo de tração (pneu ou esteira) e

suas características - 4X2, 4x2 TDA, 4x4 - e de acordo com a condição da superfície. A discussão e análises referentes à realização de ensaios oficiais e em solo agrícola podem ser obtidas em Mialhe (1996).

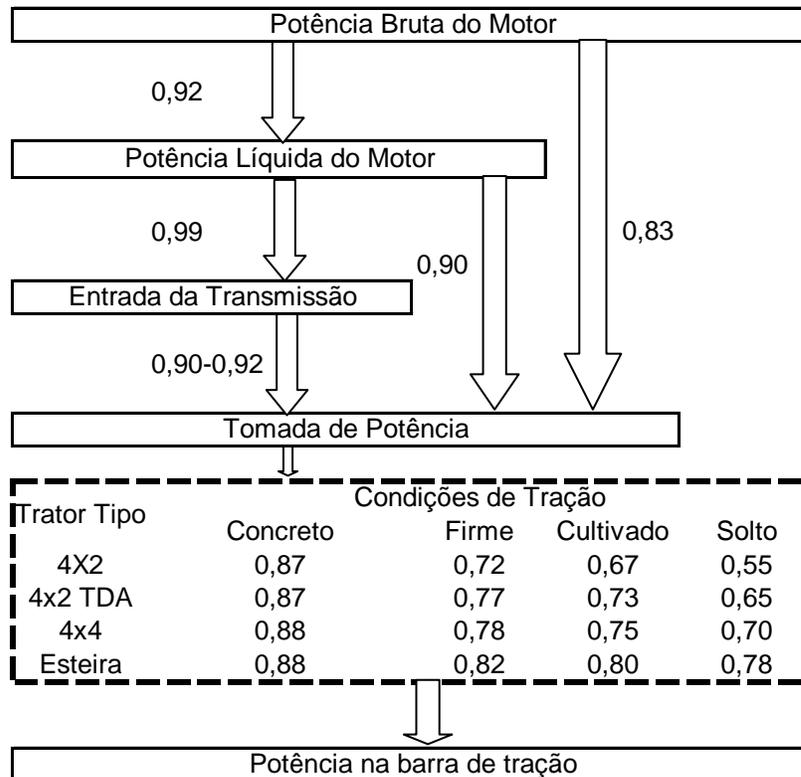


Figura 5- Esquema para determinação da potência disponível na barra de tração. Fonte ASAE (1998b)

Determinada a potência disponível na barra de tração (PDBT) torna-se necessário o cálculo o da potência requerida na barra de tração (PRBT) pela máquina ou implemento para a verificação da possibilidade de acoplamento. A potência requerida (PRBT) pode ser obtida através das relações propostas pela ASAE (1998b), apresentadas na íntegra no Anexo A, por meio de um modelo genérico, equação 9.

$$Ft = \{Si \times [A + B \times v + C \times ve^2] \times L \times h\} \quad (09)$$

Em que: F_t é a força de tração requerida para tracionar a máquina ou implemento (N);

S_i é um fator adimensional referente a textura do solo;

A,B,C, são parâmetros específicos para cada grupo de máquinas agrícolas;

v_e é a velocidade efetiva (real) da operação em km h^{-1} ;

L é a largura de trabalho (m ou número de hastes);

h é a profundidade de trabalho (cm).

A potência exigida é calculada através da equação 10:

$$P = F_t \times v_e \quad (10)$$

Em que: P é a potência requerida em watts (W);

F_t é a força de tração obtida na equação 9.

Portanto a seleção do trator e implemento tem de atender a relação apresentada na Figura 6. A associação entre a potência disponível e a requerida permite o dimensionamento teórico do conjunto trator e implemento. O dimensionamento pode se iniciar da potência disponível do motor, calculando-se a largura de corte e/ou profundidade de trabalho da máquina / implemento para dadas condições operacionais, ou a partir das características da operação determinar-se a potência requerida no motor para as condições da operação.

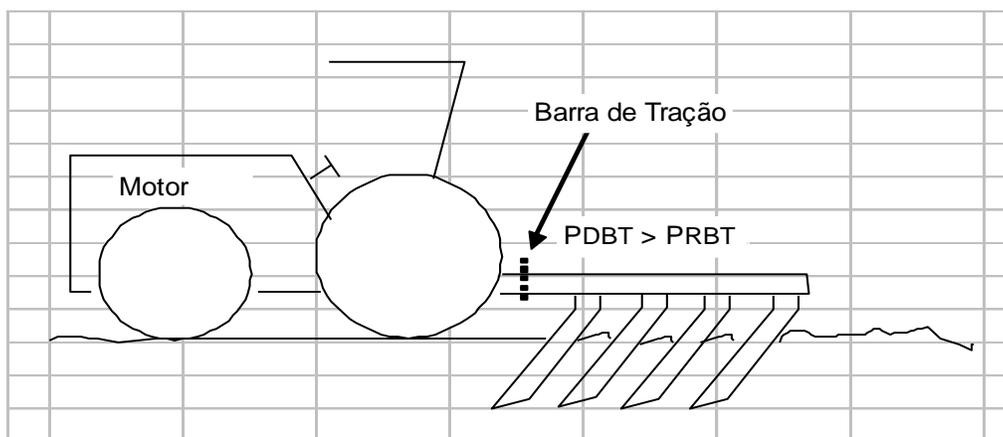


Figura 6- Potência disponível (PDBT) e requerida (PRBT) na barra de tração de um trator agrícola.

Naturalmente esses modelos devem ser aplicados com certo cuidado, desde que podem existir diferenças entre as condições de trabalho, e também que as relações foram desenvolvidas com base nas condições americanas. Uma das formas de dimensionamento ou de aferição dos resultados emitidos por essas relações é compará-los com os fornecidos por empresas fabricantes de equipamentos, Tabela 1.

Tabela 1 - Potência requerida de alguns implementos agrícolas. Adaptado de Marchesan²

Descrição	Modelo	Número de discos/aivecas / hastes	Largura de corte (mm) máxima	Potência máxima requerida no motor do trator.	
				kW	cv
Arado Reversível	AR-PR	3	900	44	60
Arado de Aivecas	AARP	5	2400	162	220
Arado de Aivecas	AARP	6	2880	176	240
Grade	GAI	20	2570	96	130
Escarificador	AST/MATIC550	5	3000	176	240

Outra forma seria a de desenvolver os parâmetros da equação para as condições do país, mas existe uma carência grande de dados que inviabiliza no presente momento a tentativa. Essa seria uma área, na opinião do autor deste trabalho, em que a pesquisa poderia se desenvolver, melhorando as perspectivas do planejamento.

2.4 - Desempenho econômico da maquinaria agrícola

O desempenho econômico da maquinaria agrícola envolve o cálculo do custo direto e indireto e o operacional. Os custos diretos são aqueles associados à posse e ao uso, os indiretos são aqueles devidos a um dimensionamento inadequado e o operacional está associado à capacidade de trabalho do conjunto ou máquina. A mão de obra do operador pode ser acrescentada ao custo direto de duas formas. A primeira, se o operador tem como função exclusiva a operação do conjunto/máquina, o custo incide totalmente para a máquina; a segunda, se ele exerce outras atividades a divisão poderá ser proporcional ao tempo que ele despense na

² Marchesan Implementos e Máquinas Agrícolas Tatu S/A. www.marchesan.com.br

(Obs: a apresentação do catálogo é para efeito informativo, não se tratando de recomendação ou indicação do produto pelo autor deste trabalho)

máquina e na outra atividade. No presente caso será abordado somente o custo referente ao maquinário agrícola.

2.4.1- Custo Direto

O custo direto ou horário, é classicamente dividido em custos fixos e variáveis. Os custos fixos independem do uso da máquina, englobando a depreciação, juros o alojamento seguro e taxas. O custo variável depende do uso e reflete os gastos com o combustível e o reparo e manutenção. Para o cálculo do custo fixo anual a ASAE (1998a) propõe a metodologia de calculo de acordo com a Equação 11:

$$CFa = VI \times \left\{ \left[\frac{(1-Vf)}{Vu} \right] + \left[\frac{(1+Vf)}{2} \right] \times i \right\} + Ast \quad (11)$$

Em que: CFa o custo fixo anual (R\$);

VI é o valor inicial da máquina ou implemento em R\$;

Vu é a vida útil em anos;

Vf é o valor final da máquina ou implemento em decimal (porcentagem do valor inicial após a vida útil VU);

i é a taxa de juro aplicado ao capital médio;

Ast é o custo do alojamento em decimal.

Na Equação 7 o termo $\frac{(1-Vf)}{Vu}$ representa a depreciação do bem ao longo do tempo. A depreciação ocorre pela idade, desgaste e a obsolescência da máquina. É interessante notar que embora a depreciação seja classificada como custo fixo, ela pode sofrer influência do uso no item referente ao desgaste, o que altera o valor final do bem. No caso a depreciação está sendo calculada pelo método linear, embora outros métodos possam ser utilizados, como é o caso do

saldo decrescente. O método do saldo decrescente permite obter uma maior depreciação nos primeiros anos de vida do equipamento o que não é possível com a aplicação do método linear.

Quando da utilização do método linear, o cálculo dos juros anuais são realizados sobre o capital médio através do segundo termo $[\frac{(Vi + Vf)}{2}] \times i$. As despesas com alojamento, seguro e taxas são expressas em decimal no terceiro termo da equação: A_{st} . A multiplicação do valor inicial – VI- pela soma da depreciação, juros e alojamento seguro e taxas, fornece o custo fixo anual do equipamento e dividindo-se o custo anual pelo número de horas de utilização anual obtém-se o custo fixo horário (específico).

Em termos anuais o custo é considerado como fixo, mas a medida em que as horas de utilização varia, o custo fixo horário, custo específico, passa a depender do número de horas de utilização ao ano. É devido a esse fato que existe a importância de se planejar adequadamente não só o número de equipamentos, mas também o seu porte, pois uma máquina mal utilizada em termos de horas por ano pode se transformar em um pesado ônus financeiro para a atividade.

O custo variável é calculado levando-se em conta o gasto com combustível e aqueles referentes aos reparos e manutenção. Eles são contabilizados quando a máquina encontra-se em uso, embora mesmo uma máquina parada, como o caso de um trator colocado sobre um cavalete, deva sofrer alguma espécie de manutenção. Os custos variáveis podem ser influenciados pelo local de trabalho, habilidade do operador, manutenção e regulação da máquina entre outros.

a) Estimativa do custo com combustível.

O cálculo do custo variável referente ao combustível é realizado de acordo com o apresentado na Equação 12:

$$CCb = Cc \times Pl \quad (12)$$

Em que: CCb é o custo do combustível (R\$.h⁻¹);

Cc é o consumo de combustível (L.h⁻¹);

Pl é o preço do litro de combustível (R\$.L⁻¹).

Para se obter o custo despendido com o combustível é necessário estimar o consumo horário da máquina. O consumo varia de acordo com as condições de trabalho, característica e estado da máquina, habilidade do operador, podendo ser determinado por meio de dados já existentes ou por estimativas. Os dados coletados a campo são, inquestionavelmente, a melhor maneira porém exigem uma anotação contínua e precisa dos serviços realizados. A alteração do tipo de máquina ou do local pode inviabilizar a aplicação dos dados coletados para outra situação. Por outro lado, existem algumas maneiras de se estimar o consumo desde as mais simples, representadas por um coeficiente, a equações que levam em conta a utilização da potência do motor. O método mais simples consiste na multiplicação da potência do motor por um fator de consumo para estimar o consumo médio anual para todas as operações, equação 13:

$$Q_{avg} = 0,305 \times P_{tdp} \quad (13)$$

Em que: QAVG é o consumo de gasolina estimado (L.h⁻¹);

PTDP é a potência máxima na Tomada de Potência –TDP (kW).

A equação 13, fornecida pela ASAE (1998a), permite o cálculo do consumo horário médio anual para um motor de trator do ciclo Otto que utiliza como combustível a gasolina. Para um motor do ciclo Diesel estima-se que esse tipo de motor deve consumir ao redor de 73% do consumo estimado para o motor do ciclo Otto.

Witney (1988) discute que o consumo de combustível de um trator varia não só entre as operações mas, também dentro da operação como é o caso da diferença de consumo entre a máquina em operação e em manobra. A eficiência de um motor no aproveitamento varia com a carga imposta e atinge a um máximo com aproximadamente 90% da carga.

O consumo específico a diferentes cargas pode ser obtido através da razão entre a potência requerida e a potência máxima na TDP. O calculo o consumo para diferentes operações pode ser realizado através das relações propostas no item 2.1.3.2, calculando-se a razão entre a potência disponível (PDTDT) e a requerida (PRTDP). Essa a metodologia foi utilizada por Milan (1992) no desenvolvimento da equação 14:

$$S_{fct} = 0,288 + \frac{0,0847}{Pr} \quad (14)$$

$$R^2 = 0,913$$

Em que: SFCt= consumo específico de combustível (L.kW.h⁻¹);

Pr= Razão entre a potencia requerida (PRTDP) / potencia disponível (máxima) (PDTDP).

A equação 14 foi obtida por meio de um modelo de regressão com base nos resultados apresentados pelo ensaio da TDP de tratores agrícolas realizados no Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA). A metodologia de ensaio consiste em impor seis cargas diferentes, correspondendo a 85%, 42,5%, 100%, 21,25% e 63,5% do momento de força obtido no ensaio de potência máxima disponível a velocidade angular do motor, para simular as diferentes condições de trabalho a que é submetido um trator agrícola. Bernardes et al (1998) e Corrêa et al (1999), utilizaram-se do mesmo princípio para predizer o consumo de tratores agrícolas com base nos ensaios da TDP. Bernardes et al (1998) utilizou-se de 46 relatórios de ensaios realizados no CENEA, enquanto que o desenvolvido por Corrêa et al (1999), além de dados do CENEA, utilizou-se também os referentes ao Centro de Mecanização e Automação Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas (CMMA/IAC) comparando-os com os resultados fornecidos pelos ensaios de Nebraska , localizado nos Estados Unidos da América- EUA.

b)- Reparo e Manutenção

Os reparos e as manutenções são essenciais para garantir o desempenho e a confiabilidade de uma máquina ou implemento agrícola. O calculo desse item envolve o custo referente às peças e a mão de obra necessária ao longo da vida útil. Quanto aos reparos e manutenção a ASAE propõe uma porcentagem em relação ao valor inicial que a máquina ou implemento vai despender ao longo da vida útil, equação 15:

$$C_{rm} = \frac{VI \times Fr}{V_{uh}} \quad (15)$$

Em que: C_{rm} é o custo de reparo e manutenção por hora (R\$h-1);

Fr é o fator de reparos e manutenção em decimal;

V_{uh} é a vida útil estimada em horas do equipamento.

A lógica é que quanto maior o valor inicial da máquina maior será o custo da manutenção e os valores calculados são constantes ao longo da vida útil. O valor constante, referente ao reparo e manutenção, não expressa a realidade, pois no início da vida útil da máquina esses valores são pequenos e tendem a aumentar com as horas de utilização. Caso for necessário estimar ao valor acumulado de acordo com as horas de uso, a ASAE (1998a) propõe a utilização da equação 16 :

$$Crma = Rf1 \times \left(\frac{x}{1000}\right)^{Rf2} \quad (16)$$

Em que: Crma é o custo de reparos e manutenção acumulado até a hora x, em decimal

Rf1 e Rf2 são os fatores de reparos e manutenção fornecidos para cada equipamento

x é o número de horas de uso acumulado.

É importante ressaltar que o valor exato dos reparos e manutenção só pode ser obtido ao final da vida útil da máquina. Os coeficientes propostos pela ASAE (1998b) são apresentados no Anexo B.

2.4.2- Custo indireto

O custo indireto, também denominado de pontualidade, é definido como as perdas financeiras devido ao planejamento inadequado da maquinaria agrícola, causando uma redução na produtividade da cultura e/ou na sua qualidade. Dentre as operações as mais críticas são aquelas ligadas à semeadura / plantio, a aplicação de defensivos e a colheita. Segundo Witney (1988) a semeadura tardia de uma cultura diminui o período favorável para o desenvolvimento e introduz um risco para a colheita em épocas desfavoráveis; atrasos na aplicação de defensivo podem resultar em uma infestação de doenças ou pragas; atrasos na colheita de forragem podem acarretar em uma menor digestibilidade do material. Portanto é de importância vital a adequação da capacidade dos sistemas mecanizados as condições impostas pela cultura e clima tendo-se como princípio que um número de máquinas superdimensionado acarreta em prejuízos devido ao custo fixo e subdimensionado aumenta os riscos de perdas. A Figura 8 apresenta a forma geral de

uma curva de perdas que em relação ao tempo ideal (T_0) da realização da operação para se obter a perda mínima, observando-se que existem diferenças se o evento ocorrer cedo ou tarde.

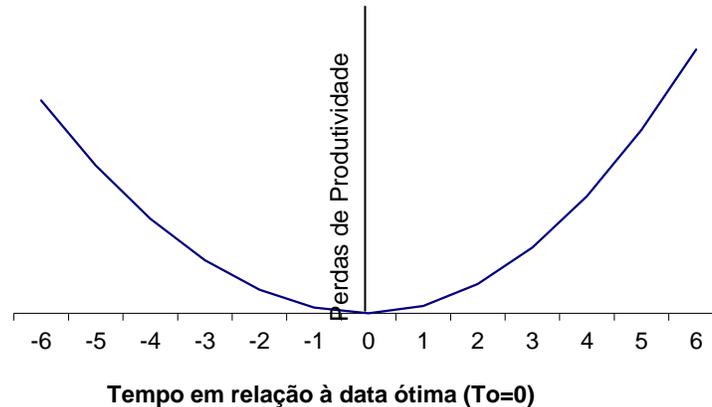


Figura 8- Forma geral da curva de perda de produtividade em função da data ótima (T_0) de realização da operação agrícola.

O trabalho de Veiga et al. (1999) descreve que os custos diretos referentes ao uso de máquinas agrícolas para a cultura são estimados em 27% dos custos de produção e que os indiretos são pouco conhecidos no Brasil. Os autores desenvolveram um trabalho para quantificar as perdas associadas à pontualidade na operação de semeadura da cultura de soja na região de Piracicaba (SP), estabelecendo um modelo de previsão da produtividade em função das épocas de semeadura, equação (17) :

$$y = (-0,613x^2 + 59,17x + 1763,6) \quad (17)$$
$$R^2 = 0,80$$

Em que: y = produtividade em quilos por hectare (kg/ha)

x = dias após a data da primeira semeadura.

Borges et al (2004) aplicaram o conceito da pontualidade na seleção de colhedoras de cereais, mais especificamente para a cultura da soja. Os autores determinaram os modelos de perdas associados à data de colheita para a região de Ponta Grossa (PR) e a partir deles dimensionaram a frota com base na renda líquida obtida.

Os dois trabalhos, Veiga et al. (1999) e Borges et al. (2004) demonstram a importância da pontualidade no dimensionamento de máquinas e ressalta-se aqui a ausência de mais trabalhos associados a esse conceito no país. No dimensionamento e seleção das máquinas, duas alternativas podem ser adotadas. A primeira delas é considerar somente o custo direto e para esse caso a metodologia determina que as operações iniciem e terminem nos prazos estipulados. Considerando-se o custo indireto, o objetivo é ajustar o custo direto às perdas advindas da pontualidade encontrando-se o ponto que cause o maior retorno.

2.4.3 - Custo Operacional

O custo operacional reflete a relação entre o custo horário do equipamento ou conjunto e a sua capacidade de trabalho. É por meio dele, custo operacional, que comparações entre os diferentes sistemas mecanizados podem ser efetuadas. O custo operacional é fornecido pela equação 18:

$$COp = \frac{CHc}{CcO} \quad (18)$$

Em que: COp = custo operacional (R\$ ha⁻¹)

CHc = custo horário do conjunto em (R\$ h⁻¹)

CcO = capacidade operacional da máquina / conjunto trator-implemento (ha.h⁻¹)

O custo horário de um conjunto trator – implemento é fornecido pela somatória do custo horário do trator e do implemento. Já a capacidade de trabalho, capacidade de campo operacional, depende da largura e velocidade de trabalho e da eficiência.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. **ASAE Standards**. St. Joseph, Agricultural management data ASAE EP496.2.1998a, p.354-359.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. **ASAE Standards**. St. Joseph, Agricultural management data ASAE D497.4. 1998b, p.360-367.

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

BERNARDES, R.C.; BALASTREIRE, L.A.; MILAN, M. Análise do consumo de tratores agrícolas variando-se a potência na TDP. **Engenharia Rural**, v.9, n.2, p.76-87, 1998.

BORGES, I.O.; MACIEL, A.J.S.; MILAN, M. Sem perder tempo. *Cultivar máquinas*, v.3, n.29, p.28-30, Abr., 2004.

BOWERS, W. matching equipment to big tractors for efficient field operations. **ASAE paper** 78-1031. ASAE, St. Joseph, MI 49085, 1978.

CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G.; MILAN, M.; GADANHA JUNIOR, C.D.; PECHE FILHO MENEZES, J.F. Estimativa do consumo de combustível de tratores agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., Pelotas, 1999. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, - Comunicação Técnica. Pelotas, 1999, 3p.

DE'CARLI, V.H. Adequação das épocas de cultivo na região de Manaus-AM, através do balanço hídrico seriado. Piracicaba 1994. 73p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, N.G.; LIMA, E.B. BANCHI, A.D.; PINTO, R.S.A.; LOPES, J.R. Eficiência de uso de máquina agrícola. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., Águas de São Pedro. 1993, **Anais**. Piracicaba: STAB, 1993, p. 165-168.

HUNT, D.R. **Farm power and machinery management**. 6.ed. Iowa: The Iowa State University Press, 1973. 315p. (1973).

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

MOLIN, J.P.; MILAN, M. trator e implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M. STAPE, J.L. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 13, p.409-436.

VEIGA, C.M.; NERY, M.S.; MILAN, M.; MARCHIORI, L.F.S. Determinação do custo indireto para máquinas agrícolas na cultura da soja, considerando o custo da pontualidade na semeadura. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL SUL DO BRASIL, 21^o, Dourados, 1999. Resumos. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Londrina: Embrapa Soja, 1999. p.49.

WITNEY, B. **Choosing and using farm machines**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1998. 411p.