**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dimensionamento operacional e econômico de um sistema de
colheita mecanizada de cana-de-açúcar: estudo de caso**

Milton Pyles de Oliveira

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Máquinas Agrícolas

**Piracicaba
2012**

Milton Pyles de Oliveira
Bacharel em Administração

**Dimensionamento operacional e econômico de um sistema de colheita
mecanizada de cana-de-açúcar: estudo de caso**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **TOMAZ CAETANO CANNAVAM RIPOLI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Máquinas Agrícolas

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Oliveira, Milton Pyles de

Dimensionamento operacional e econômico de um sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar: estudo de caso / Milton Pyles de Oliveira.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.

83 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Cana-de-açúcar 2. Colhedoras 3. Colheita mecânica 4. Desempenho operacional 5. Planejamento agrícola I. Título

CDD 633.61
O48d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Cassiano de Oliveira Neto e Sylvia Pamplona Pyles de Oliveira, pois procuraram sempre me instruir para o bem e para o melhor e mesmo distante me deram muita força para vencer.

À minha esposa, Tatiane Orlandi Marques de Oliveira, a qual me deu muita força e paciência para chegar até aqui.

À minha filha, Alice, que é a razão de todo esse esforço.

Aos meus irmãos, Paulo Henrique e George pela amizade, apoio, conselhos e respeito mútuo.

Aos meus tios Carlos Henrique e Milton, os quais me repassaram seus conhecimentos do setor sucroalcooleiro, fortalecendo-me profissionalmente.

À todos os meus amigos e também chamados de irmãos, Flávio Luis dos Santos Teixeira, Mateus Marrafon, José Victor Salvi e João Henrique Mantellatto Rosa, pelo apoio recebido.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me dar forças para perseverar em busca de meus objetivos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a Universidade de São Paulo pela oportunidade de aprendizado e realização do mestrado.

Ao Departamento de Engenharia de Biossistemas pela transmissão de conhecimento e pela disponibilidade de materiais necessários no programa de pós-graduação em máquinas agrícolas.

Ao professor Tomaz Caetano Cannavam Ripoli pela paciência, dedicação, orientação, e apoio durante o mestrado. Também pela amizade e “paternidade” concedida durante tantos anos de convívio.

Aos professores Marcos Milan, José Paulo Molin, Casimiro Dias Gadanha Junior e Thiago Libório Romanelli do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP pelos conhecimentos transmitidos juntamente aos conselhos concedidos durante o curso.

À secretaria de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Biossistemas, na pessoa de Davilmar Collevatti.

Às secretarias do LEB, em nome de Fernanda Barbosa Neves da Silva.

Às secretárias da biblioteca Eliana Maria Garcia e Silvia Maria Zinsly.

Aos amigos do curso de mestrado em máquinas agrícolas: João Conrado Schimidt Junior, André Ferreira, André Colaço, Carlos Amaury Zanelli de Souza, Cilene de Oliveira, Eloy Karam, Edemilson Mantoam, Fernanda Souza, Giancarlo Rocco, Nelson Franco Junior, Luciano Libório Romanelli, Raniére Vieira e Hugo José Rosa.

À Destilaria Pyles Ltda, por me liberar semanalmente de meus compromissos profissionais, a fim de me dedicar aos estudos.

Obrigado

EPIGRAFE

“Os analfabetos do século XXI não serão aqueles que não sabem ler nem escrever, mas os que não sabem aprender, desaprender e reaprender.”

Alvin Tofler

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 HIPÓTESE.....	21
3 OBJETIVO	21
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
4.1 Panorama e perspectivas do setor sucroalcooleiro	23
4.2 Colheita da cana-de-açúcar.....	27
4.2.1 Aspectos fitotécnicos e sistemas de colheita.....	28
4.2.2 Aspectos ambientais do sistema de colheita mecanizada.....	32
4.3 Planejamento e dimensionamento do sistema mecanizado	37
4.4 Dimensionamento econômico de sistemas mecanizados de colheita	41
5 MATERIAL E MÉTODOS	43
5.1 Planejamento e dimensionamento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar ...	44
5.1.1 Estimativa do tempo disponível	45
5.1.2 Estimativa do ritmo operacional – RO	46
5.1.3 Capacidade de produção operacional – CPO	46
5.1.4 Número de colhedoras – NC	48
5.2 Custo operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar.....	48
5.2.1 Custo Horário – CH	49
5.2.2 Custo Operacional – Cop	51
5.2.3 Custo total do sistema mecanizado de colheita.....	52
5.3 Premissas e fontes dos dados	52
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57

6.1	Custo Fixo	58
6.2	Custo Variável	59
6.3	Custo Total	59
6.4	Análise de sensibilidade do planejamento.....	60
6.4.1	Impacto da velocidade no custo operacional por tonelada	61
6.4.2	Impacto da eficiência operacional no custo operacional por tonelada	62
6.4.3	Impacto da eficiência gerencial no custo operacional por tonelada	63
6.4.4	Impacto da vida útil dos equipamentos no custo operacional por tonelada	63
6.4.5	Impacto da produtividade agrícola no custo operacional por tonelada	65
6.5	Impacto médio das variáveis no custo operacional	65
7	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS:	69
	ANEXOS.....	77

RESUMO

Dimensionamento operacional e econômico de um sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar: estudo de caso

A cultura da cana-de-açúcar esta relacionada, principalmente, com a produção energia, podendo ser tanto por meio do etanol, quanto do açúcar ou quanto da energia elétrica. A demanda por alimentos e energia é crescente, proporcionando assim um crescimento da produção nacional destes produtos. Devido a essa necessidade, surge a importância de um planejamento para um sistema de colheita mecanizado na cultura, com a finalidade de atender ao aumento do consumo e às exigências legais oriundas dos fatores ambientais e sociais. Sendo assim, o objetivo geral desse estudo foi o de realizar, por meio de um estudo de caso, um modelo de dimensionamento operacional e econômico da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, em uma destilaria na região de Assis, estado de São Paulo. Por tal, foi realizado um planejamento e caracterização dos conjuntos mecanizados para a colheita nas áreas do estudo de caso, por meio de definição do custo horário, tempo disponível, ritmo operacional e número de conjuntos. Com esses índices, a destilaria pretende aplicar o modelo e atender as premissas do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro antes do prazo limite exigido para a mecanização da colheita da cana-de-açúcar. O investimento em tecnologia e manejo agrícola visando o aumento de produtividade por hectare é o fator de impacto imediato no custo de produção por tonelada.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Colhedoras; Colheita Mecânica; Desempenho operacional; Planejamento Agrícola

ABSTRACT

Economic and operational scaling a system of mechanical harvesting of sugarcane: case study

The sugar cane crop is mainly related, with the production of this energy, can be either through the sugar or ethanol, and electric power. The demand for food and energy is increasing, thereby providing a growth of domestic production of those products. Because of this need, dawned the importance of planning for a mechanized harvesting system in culture, in order to meet the increased consumption and legal demands from environmental factors and female members. Thus, the overall objective of this research is to achieve, by means of a case study, an economic and operational scaling model of mechanical harvesting sugar cane in a distillery in the region of Assis, São Paulo State. Therefore, it was held a joint planning and characterization of mechanized harvesting in the areas of case study, by means of definition of timetable available, cost, time, and number of sets operating rhythm. With these indexes, the distillery want to apply the template and meet the assumptions of agricultural environmental Protocol of sugar-alcohol sector before the time limit required for the mechanization of the harvest of sugar cane. Investment in agricultural technology and management aimed at the increase of productivity per hectare is the immediate impact factor in the cost of production per ton.

Keywords: Sugarcane; Harvesters; Mechanical Harvesting; Operational performance; Agricultural planning

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis utilizadas para o cálculo do número de colhedoras.	53
Tabela 2 - Variáveis utilizadas para o cálculo do custo horário e operacional das colhedoras.	54
Tabela 3 - Valores dos tratores e transbordos para o carregamento da cana-de- açúcar.	55
Tabela 4 - Valores dos equipamentos auxiliares para a manutenção das colhedoras. ...	55
Tabela 5 - Resultados referentes ao modelo de dimensionamento.	57
Tabela 6 - Resultados do custo operacional.	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da produção de cana-de-açúcar, etanol e açúcar	24
Figura 2 – Percentual de cana-de-açúcar processada para a produção de açúcar e etanol na região centro-sul do Brasil	25
Figura 3 – Participação da colheita mecanizada no sistema de produção	26
Figura 4 – Épocas de colheita de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil em função do ciclo e da maturação das variedades	28
Figura 5 – Fluxograma do sistema global de colheita de colmos de cana-de-açúcar, com subsistemas e interfaces	29
Figura 6 - Sistema de colheita semi- mecanizado, em que (a): corte manual; (b): carregamento; (c): transporte	30
Figura 7 - Sistema de colheita mecanizado, em que (a): colheita mecanizada com colhedora autopropelida e carregamento do transbordo; (b): descarregamento do transbordo m carretas; (c): transporte	30
Figura 8 – Esquema simplificado de uma colhedora de cana picada com destaque para os principais órgãos ativos	31
Figura 9 – Prazos para a eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar no estado de São Paulo	34
Figura 10 - Pluviosidade média mensal na região do estudo de caso (2002-2011)...43	
Figura 11 - Fluxograma das etapas para a definição do número de conjuntos necessárias para o estudo	44
Figura 12 – Fluxograma para determinação do custo operacional do sistema mecanizado de colheita de cana-de-açúcar.....	49
Figura 13 – Distribuição do custo fixo horário: Depreciação – (DPA), Juros anuais – (JRA) e Alojamento, seguro e taxas – (ASTA)	58
Figura 14 – Distribuição do custo variável horário: Custo do consumo de combustível – (CCB), Custo de reparo e manutenção – (CRM) e Custo com mão-de-obra horário – (CMOH).....	59
Figura 15 – Distribuição do custo total horário: Custo fixo horário – (CFH) e Custo variável horário – (CVH)	60
Figura 16 – Variação da velocidade (km h ⁻¹) em função do custo operacional (R\$ t ⁻¹) e o número de conjuntos	61

Figura 17 – Variação da eficiência operacional (%) em função do custo operacional (R\$ t ⁻¹) e o número de conjuntos	62
Figura 18 – Variação da eficiência gerencial (%) em função do custo operacional (R\$ t ⁻¹) e o número de conjuntos.....	63
Figura 19 – Variação da vida útil em anos em função do custo operacional (R\$ t ⁻¹) e o número de conjuntos	64
Figura 20 – Variação da produtividade agrícola (t ha ⁻¹) em função do custo operacional (R\$ t ⁻¹) e o número de conjuntos	65
Figura 21 - Análise de sensibilidade para o cenário base: Valor inicial – (VI), Custo do consumo de combustível – (CCB), Mão-de-obra (MO), Custo de reparo e manutenção – (CRM) e Juros anuais – (JRA).....	66

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma gramínea muito cultivada nas regiões tropicais buscando a geração e co-geração de energia. O Brasil é o maior produtor mundial de cana, sendo responsável pelo processo de 575 milhões de toneladas da matéria-prima na safra 2010/11, o equivalente a área de cerca de 8 milhões de hectares (BRASIL, 2012).

Neste contexto o setor sucroalcooleiro brasileiro possui grande importância econômica, social e ambiental, estando em plena expansão, principalmente em virtude da crescente demanda por etanol, atraindo assim investimentos nacionais e internacionais para as usinas e na construção de novos empreendimentos.

Na cadeia produtiva do açúcar e etanol a matéria-prima cana-de-açúcar corresponde a aproximadamente, 60% do custo de produção, sendo que o desenvolvimento tecnológico de fatores de produção agrícola tem papel crucial na competitividade setorial.

A colheita da cana-de-açúcar destaca-se pelos altos custos envolvidos e pelas dificuldades operacionais. Nos últimos anos, este processo vem sendo alterado, passando do sistema de corte semi-mecanizado, cuja colheita é realizada de forma manual e o carregamento e transporte da matéria prima colhida são feitas mecanicamente, para o mecanizado, que utiliza exclusivamente de máquinas. Basicamente dois fatores contribuíram para o aumento da colheita mecanizada, carência de mão-de-obra e questões ambientais. O fator mão-de-obra se deve inclusive ao elevado custo de encargos trabalhistas no Brasil, a legislação, com a implantação da NR 31, a competição com a construção civil, que vem em processo de expansão e a demanda crescente da produção de cana no país. Os fatores ambientais devem-se poluição do ar, aquecimento global e questões relacionadas à saúde respiratória. Foi então constituída a Lei Estadual n. 11.124 de 19/9/2002, que define a eliminação gradativa da queima do palhiço, da cana, cuja prática é utilizada para aumentar a capacidade da colheita manual. Essa Lei tem um plano gradual de eliminação da queima, no estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2002). A ausência da queima do palhiço torna inviável técnica e economicamente o corte manual, tornando-se obrigatória a colheita realizada por colhedoras automotrizes (MAGRO, 1998).

Em 2007, as usinas e os produtores do Estado de São Paulo assinaram voluntariamente o *Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro*, que tem como destaque a antecipação dos prazos legais para o fim da colheita da cana-de-açúcar com o uso prévio do fogo nas áreas cultivadas pelas usinas. Por esse Protocolo, no ano de 2010, 70% das áreas passíveis de mecanização da colheita não receberão a queima da palha, chegando à totalidade de 100% em 2014 (SÃO PAULO, 2007).

Perante a esse cenário e dado o alto valor de investimento da estrutura de colheita mecanizada, estudos mais aprofundados em planejamento e dimensionamento da frota mecanizada são exigidos de modo a oferecer subsídios para o gerenciamento e/ou ampliação da frota agrícola destinada a essa operação.

O planejamento e o dimensionamento de sistemas mecanizados é uma das etapas mais importantes dentro do processo produtivo, cujo objetivo é analisar as necessidades de uma propriedade agrícola, propondo a seleção dos equipamentos, máquinas e implementos de modo a otimizar os estágios mecanizados da produção. As operações que compõem os sistemas devem ser ajustadas, afim de que os seus desempenhos propiciem melhores retornos aos investimentos realizados.

A partir do planejamento e dimensionamento, a análise da viabilidade do modelo permite identificar as possibilidades econômicas decorridas do investimento, permitindo assim tomadas de decisões de forma racional.

Desde modo, a análise operacional e econômica do modelo de mecanização de colheita, mostra-se relevante ao atual contexto do setor sucroalcooleiro, sendo esse trabalho uma proposta de analisar tal sistema de colheita.

2 HIPÓTESE

O processo de mecanização da colheita é viável para a nova configuração dos desafios ambientais e econômicos encontrados pelas usinas, por meio da análise da existência de uma correlação inversa entre produtividade agrícola e o custo marginal de operação de colheita por tonelada.

3 OBJETIVO

O objetivo foi realizar, por meio de um estudo de caso, um modelo de dimensionamento operacional e econômico da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em uma destilaria de etanol. Especificamente, pretende-se:

- Realizar o planejamento e dimensionamento dos conjuntos mecanizados para a colheita;
- Elaborar o custo operacional conforme a variação da produtividade agrícola;
- Fazer uma análise de sensibilidade;

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica engloba quatro seções em que a primeira mostra o panorama do setor sucroalcooleiro e suas perspectivas para às próximas safras. Em seguida, descreve-se sobre a colheita mecanizada, com aspectos fitotécnicos da cultura, dos sistemas de colheita e aspectos ambientais relativos a essa etapa do processo produtivo. Posteriormente mostram-se estudos sobre o planejamento e dimensionamento do sistema mecanizado. Finalizando a revisão, são descritos trabalhos sobre o dimensionamento econômico de sistemas mecanizados de colheita.

4.1 Panorama e perspectivas do setor sucroalcooleiro

O setor sucroalcooleiro consolidou-se ao longo dos últimos anos como um dos pilares da atividade agrícola brasileira. A expressiva expansão da cana-de-açúcar frente a outras culturas, tais como soja, milho e mesmo a pecuária, demonstra a dimensão econômica, política e social que o setor possui dentro do cenário nacional (MARQUES, 2009).

Da cana obtém-se açúcar, etanol, aguardente, energia elétrica, além de subprodutos para os mercados interno e externo, com dinâmica de preços e demanda diferentes. Atender a esses mercados sem oscilações significativas requer planejamento e gestão. Durante décadas isso foi feito pelo governo; a partir da década de 90, em processo concluído em 1999, a responsabilidade foi repassada integralmente ao setor privado e hoje prevalece o regime de livre mercado, sem subsídios, e definem-se os preços do açúcar e do etanol de acordo com as oscilações da oferta e da demanda. Os preços da cana são definidos de acordo com a qualidade da matéria-prima, mensurada pelo açúcar total recuperável, (ATR) e os preços efetivos do ATR são obtidos pela proporção dos produtos finais produzidos pela usina e pelo preço final desses produtos (CONSECANA, 1999).

Após a desregulamentação do setor sucroalcooleiro, verificou-se que entre as safras 2001/02 e 2010/11 ocorreu um aumento de 113% da quantidade de cana processada pelas usinas do país e de 140% na produção de etanol, saindo de 11,5 para 27,6 milhões de metros cúbicos e o principal motivo para esse aumento foi a produção de etanol do tipo hidratado. Nesse mesmo período, a produção de açúcar apresentou um aumento de 100% (UNICA, 2011), (Figura 1). Todavia, houve uma

safras de 575 milhões de toneladas em 2010/11 na região centro-sul do Brasil, ante 603 milhões de toneladas na safra 2009/10. O envelhecimento dos canaviais, com a redução da área de reformas e a diminuição dos tratos culturais ao longo dos últimos anos-safra provocou uma queda significativa da produtividade. Outro fator importante foi baixo preço da cana em relação ao custo de produção, desestimulando os investimentos nas lavouras, o que reduz o ritmo de crescimento para as próximas safras.

*resultados parciais

Figura 1 – Evolução da produção de cana-de-açúcar, etanol e açúcar

Fonte: UNICA (2011).

O estado de São Paulo é responsável pela participação de 60% da produção de cana, açúcar e etanol (UNICA, 2011) e o mix de produção da safra 2010/11 foi de 44,75% da cana processada destinada para a produção de açúcar e 55,25% para produção de etanol. Na safra 08/09, o mix foi de 59% para o etanol e 41% para o açúcar, em que ocorreu a maior participação da cana para a produção de etanol nas últimas cinco safras, devido às características do mercado no momento (Figura 2)

Figura 2 – Percentual de cana-de-açúcar processada para a produção de açúcar e etanol na região centro-sul do Brasil

Fonte: ÚNICA (2011).

De acordo com Marques (2012), o custo de produção por tonelada de cana-de-açúcar para as usinas na região centro-sul na safra 2007/08 permaneceram entre R\$ 60,52 e R\$ 70,06 por tonelada, e para os fornecedores entre R\$ 56,29 e R\$ 70,63 por tonelada, enquanto que o preço pago pela tonelada de cana-de-açúcar foi em torno de R\$ 71,00, gerando margens econômicas positivas aos produtores. O autor indica que um dos fatores que influenciaram no custo de produção é a operação mecanizada (em torno de 30% do custo total). A Figura 3 mostra a participação da colheita mecanizada na região centro-sul do país, em que é possível verificar o aumento da participação da colheita mecânica, chegando a 80% da cana colhida em 2011, ante 42% no ano de 2007 (UNICA, 2011).

Figura 3 – Participação da colheita mecanizada no sistema de produção

Fonte: UNICA (2011).

Em relação à demanda de combustíveis, a Agência Nacional do Petróleo (ANP), registrou que entre 2007 e 2008 houve um aumento na venda de etanol hidratado em 41,9%, enquanto que a demanda por gasolina tipo C (que possui 25% de etanol anidro) apresentou uma taxa de crescimento inferior (3,5%) no mesmo período. De 2007 para 2010, a participação de biocombustíveis (etanol e biodiesel) na matriz passou de 15% para 20,2%. A agência destaca que o crescimento no consumo de etanol se deve às crescentes vendas de veículos *flex* e dos baixos preços praticados pelo mercado, principalmente nas regiões produtoras (BRASIL, 2011).

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA, em 2009, cerca de 35% da frota ativa dentro do território nacional era abastecida tanto com etanol hidratado como com gasolina, fato este único no mundo. Há estimativas da entidade de que esta relação chegue a 64% em 2015. Em 2010, foram vendidos 2,62 milhões de veículos *flex-fuel*, mostrando uma evolução crescente, no mesmo ano, a venda de veículos movidos exclusivamente à gasolina foi de 660 mil unidades.

4.2 Colheita da cana-de-açúcar

Segundo Pinto (1976), a colheita da cana-de-açúcar, em todo o sistema açucareiro internacional antes da II Guerra Mundial, era efetuada manualmente, e sem queima prévia por cortadores que utilizavam facões de diferentes tipos. Os mesmos faziam feixes, que eram transportados e colocados nos veículos de transportes por outros operários. Dessa forma, a matéria-prima chegava às usinas em condições ideais, perfeitamente limpa e preservada. Com a falta de mão-de-obra durante a Segunda Guerra Mundial, o Havaí, e em menor escala a Austrália, fizeram a queima da cana antes da colheita, pois naquele momento não havia interferência na qualidade da matéria-prima, onde as folhas eram destruídas, facilitando o corte e elevando ao dobro o desempenho dos operários. Logo após o aparecimento da queima dos canaviais, surgiram as primeiras carregadoras mecânicas. Mesmo assim, não houve a solução do problema no Havaí, quando se fez necessário adaptar bordas cortantes de lâminas de terraplanagem montadas em tratores de esteiras, que arrebatavam a cana ao nível do solo, e em seguida empurravam a cana até a estrada. As grandes garras mecânicas adaptadas em escavadoras automotrizes, carregavam os montes de cana de 2 a 4 toneladas nos veículos de transportes com capacidade de 20 a 40 toneladas. A Thompson, nos EUA, na década de 50, lançou máquinas que também cortavam, porém, elevavam e carregavam simultaneamente no veículo de transporte a cana inteira. No final da década de 50, surge na Austrália, um novo conceito, que viria a solucionar a mecanização da colheita da cana-de-açúcar, ou seja, a máquina que corta, pica, limpa e carrega a cana-de-açúcar. Estas máquinas começaram a substituir o sistema de corte mecânico da cana inteira em 1960. Em 1970 o sistema de colhedora combinada detinha 95% da mecanização da colheita na Austrália, e se expandiu para outros países.

Nos anos 60, a Massey Ferguson introduziu no país a primeira colhedora tipo, corta-pica-carrega, importada da Austrália, mas sem sucesso. Na década de 70, foram produzidas 80 colhedoras de cana-de-açúcar, com formato de cesto (Santal Modelo CTD) e de esteira (Santal Modelo CTE). Em 1973, a Santal fabrica e lança no Brasil a colhedora que corta-pica-limpa e carrega. Neste período, o mercado expande definitivamente para este modelo de máquina, sendo feitas importações da

Austrália dos modelos MF 201, MF 102, Toft Robot 300, e da Alemanha a Claas modelo Libertadora (PINTO, 1977).

No Brasil, são utilizados três sistemas de colheita de cana-de-açúcar: manual, semi-mecanizado e mecanizado. No sistema manual, o corte e o carregamento são realizados manualmente, no semi-mecanizado, o corte é realizado manualmente e o carregamento mecanicamente, por sua vez, no mecanizado, as operações de corte e carregamento são realizadas mecanicamente (RIPOLI, 1996).

4.2.1 Aspectos fitotécnicos e sistemas de colheita

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma gramínea semi-perene e originária provavelmente do sudeste da Ásia. Não é uma cultura exigente em solos, porém, se desenvolve melhor em solos com boa aeração e boa drenagem (COPERSUCAR, 1988).

O ciclo da cana-planta pode ser a partir da data do plantio de 12 meses, para cana de ano, de 12 a 14 meses, para cana de inverno e 18 meses, para cana de ano e meio. Após o primeiro corte o ciclo passa a ser de 12 meses para todas as variedades (Figura 4). A mesma cana pode ser colhida até cinco ou mais vezes, porém a cada ciclo devem ser feitos investimentos significativos em insumos e tratamentos culturais para manter a produtividade (ALFONSI et al., 1987).

Figura 4 – Épocas de colheita de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil em função do ciclo e da maturação das variedades

Fonte: Mialhe (1974).

A colheita de cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil ocorre entre os meses de abril e novembro, período que abrange as menores precipitações do ano. Por meio do manejo dos ciclos de crescimento, cana de ano e meio, de inverno e de ano, e da época de maturação das variedades, precoce, média e tardia, é possível obter matéria-prima apta a ser colhida durante toda a safra (CASAGRANDE, 1991).

A colheita da cana-de-açúcar consiste na retirada de matéria-prima no campo em um sistema complexo que envolve os subsistemas de corte e carregamento, subsistema de transporte e o subsistema de recepção da cana na indústria (Figura 5). Isso exige a disponibilidade das frotas de tratores, colhedoras, transbordos, carregadoras, unidades de transporte e recepção nas unidades “industriais”, objetivando garantir um fluxo contínuo, por 24 horas diárias, da matéria-prima para adequado e programado abastecimento da indústria. Todo esse complexo de equipamentos e atitudes técnicas-gerenciais devem levar o fornecimento de matéria-prima, mantendo as suas características e qualidade preservadas (RIPOLI e RIPOLI, 2009).

Figura 5 – Fluxograma do sistema global de colheita de colmos de cana-de-açúcar, com subsistemas e interfaces

Fonte: Mialhe e Ripoli (1976).

De acordo com Ripoli e Villanova (1992), a colheita mecanizada na cultura canavieira foi introduzida, pela primeira vez, no Havaí, nos idos de 1906. Todavia, o *The Sugar Jornal* (1961, apud. GONÇALVES, 2002), afirma que foi a empresa

Thompson Match dos Estados Unidos que apresentou a primeira colhedora autopropelida, em 1936.

No estado de São Paulo, há a predominância dos sistemas semi-mecanizado (Figura 6) e do mecanizado (Figura 7). O sistema semi-mecanizado consiste em corte manual dos colmos após a queima controlada da palha da cana, procedimento este informado e autorizado pela Secretaria do Meio Ambiente, e o carregamento é realizado por máquina carregadoras que depositam a cana em carretas tracionadas por tratores (ou por caminhão). O caminhão transporta a cana para a usina. No sistema mecanizado, a matéria-prima é cortada por máquinas, sem a utilização direta da mão-de-obra e da queima controlada da palha (RIPOLI e RIPOLI, 2009).

Figura 6 - Sistema de colheita semi-mecanizado, em que (a): corte manual; (b): carregamento; (c): transporte

Figura 7 - Sistema de colheita mecanizado, em que (a): colheita mecanizada com colhedora autopropelida e carregamento do transbordo; (b): descarregamento do transbordo em carretas; (c): transporte

No Brasil são utilizadas, com maior frequência, as colhedoras autopropelidas de cana picada, com rodados pneumáticos ou de esteira metálica. Nessas máquinas, a cana passa por várias etapas dentro da colhedora, desde o momento do corte basal até o carregamento no veículo de transporte (SALVI et al., 2007). A máquina é posicionada em uma fileira de cana e quando se inicia seu deslocamento, os ponteiros são cortados pelo cortador de pontas. O sistema de alimentação é constituído pelos divisores de linhas, rolo alimentador e tombador, que direcionam a fileira de cana para o corte. O corte de base é realizado por dois discos rotativos com lâminas, e o recolhimento e transporte interno das canas inteiras é realizado por rolos alimentadores e transportadores. O corte da cana em rebolos é feito pelos picadores e a retirada parcial de matéria estranha (limpeza) pelo extrator primário. Em seguida, os rebolos são elevados pelo elevador de taliscas e na parte superior, antes do descarregamento dos mesmos, ocorre uma segunda limpeza parcial pelo extrator secundário, conforme Figura 8.

Figura 8 – Esquema simplificado de uma colhedora de cana picada com destaque para os principais órgãos ativos

Fonte: Ripoli e Ripoli (2009).

Os colmos picados de cana-de-açúcar em forma de rebolos passam pela colhedora e sendo descarregados em unidades de transbordos que são tracionados por tratores de rodas ou caminhões adaptados. Cada veículo traciona duas unidades

de transbordo, que possuem capacidade líquida unitária entre 4 a 12 t. O transbordo possui sistema hidráulicos que permitem o autodescarregamento em caminhões ou carretas que são destinadas ao transporte para a usina.

O estado de São Paulo realizou a colheita de 60% da cana-de-açúcar destinada à indústria de forma mecanizada e crua na safra 2010/11, ante 34,2% na safra 2006/07 (UNICA, 2011). Esse aumento percentual deve-se às pressões políticas ambientais e pelo custo elevado da colheita manual. Marques (2009) analisou que na safra 2007/08 os custos do corte, carregamento e transporte, denominado de CCT, representou para a região em estudo (centro-oeste de São Paulo e norte do Paraná), um percentual de 33,5% do custo total de produção da cana-de-açúcar, sendo o corte e o transporte os itens mais representativos no CCT, respectivamente.

Devido ao custo do CCT, algumas usinas e destilarias realizam a estratégia de terceirização total ou parcial da frota para a realização dessa operação. As empresas que optaram pela terceirização justificam que com tal prática existe a possibilidade da empresa reduzir custo operacional, reduzir ativos e direcionar recursos financeiros para outras prioridades no processo agroindustrial. Porém, devido aos diferentes arranjos administrativos entre as usinas e destilarias, que resultam em divergências entre o custo interno *versus* preços externo, pode ocorrer que em alguns casos, a terceirização do CCT pode não ser viável. As empresas que realizam a operação estratégica para a manutenção da lavoura, pois a qualidade da colheita é vital para longevidade do canavial (RODRIGUES, 2006).

Verifica-se portanto, que o sistema de colheita mecanizado de cana-de-açúcar nos dias atuais, é uma realidade dentro da agroindústria brasileira, assumindo então uma importância relevante aos estudos e pesquisas realizados com o tema proposto.

4.2.2 Aspectos ambientais do sistema de colheita mecanizada

Devido às pressões políticas exercidas por organizações não-governamentais e agências ambientais, há um movimento forte que busca acabar com a queima previa dos canaviais, que tem por finalidade, facilitar o corte da cana-de-açúcar eliminando as folhas e palhas, resultando assim no aumentando do desempenho

dos sistemas semi-mecanizado e mecanizado de colheita (AZZI, 1967; RIPOLI et. al., 1991).

A queima prévia dos canaviais se expandiu devido aos reflexos econômicos imediatos gerando perda de sacarose por exudação dos colmos e diminuição em média de 10 t ha⁻¹ de massa vegetal que poderia ser incorporada ao solo, melhorando as propriedades físicas e químicas, ou ainda ser utilizada como fonte de energia (RIPOLI, 1988).

Os prejuízos à qualidade do ar e ao sistema respiratório humano pela fumaça e fuligem emitidas no processo da queima são vários (EMBRAPA, 2009), além da expulsão da fauna pelo fogo, destruição de ecossistemas e prejuízos ao solo (SPAROVEK, 1997).

A prática da queima prévia pode causar doenças à população, sendo as mais graves relacionadas a queimaduras e asfixias, e, as mais leves, são as irritações nervosas provocadas pelos gases da queima. O monóxido de carbono (CO) provoca asfixia celular sistêmica, que impede as trocas de oxigênio pelas células, podendo causar intoxicações graves, além de ser cumulativa no organismo. Estes gases provocam lesões no sistema respiratório, onde caso o poluente seja carcinogênico, o risco de provocar câncer aumenta exponencialmente (BOHM, 1998).

Silva e Frois (1998) citaram que a combustão completa da palha da cana tem causada grande impacto ambiental na emissão de gases e partículas, como também na formação de compostos orgânicos. No Brasil foram realizados trabalhos de coleta de material após a queima dos canaviais, sendo identificados 40 hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), compostos estes que possuem propriedades cancerígenas quando absorvidos pela população.

Conforme Franco (1992), em levantamento realizado das cinco principais causas de altas hospitalares de trinta e cinco hospitais, em vinte e uma cidades da região canavieira de Ribeirão Preto realizado pelo Departamento de Medicina Social da FMRP/USP – (Convênio Secretaria de Estado da Saúde do Estado de São Paulo), concluem que as doenças do sistema respiratório nos meses iniciados coincidentes com o início da safra canavieira, apresentam diferenças nítidas de elevação das internações por problemas respiratórios em relação ao período de entre safra.

O movimento contra a queima da cana é especialmente intenso no estado de São Paulo, maior produtor. A partir disso, o setor sucroalcooleiro do estado de São Paulo, por meio de sua representante a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA), assinou com o governo paulista, em julho de 2007, o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro (São Paulo, 2007). Esse Protocolo, de adesão voluntária, estabeleceu uma série de princípios e diretrizes técnicas, de natureza ambiental, a serem observadas pelas agroindústrias de cana-de-açúcar, com a concessão de um certificado de conformidade ambiental pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente.

Entre os procedimentos, destaca-se o compromisso com a antecipação dos prazos legais para a eliminação da queima controlada da palha da cana, definidos pela Lei Estadual número 11.241/02 (São Paulo, 2002). Anteriormente prevista para ser extinta em 2021, a queima nas áreas mecanizáveis será eliminada até 2014, segundo a tratativa. No caso das áreas não mecanizáveis (declividade superior a 12%), o Protocolo antecipa o fim da queima de 2031 para 2017 (Figura 9). Além da queima controlada da palha de cana, o Protocolo dispõe sobre outros temas, como: conservação do solo e dos recursos hídricos, proteção de matas ciliares, recuperação de nascentes, redução de emissões atmosféricas e cuidados no uso de defensivos agrícolas.

Figura 9 – Prazos para a eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar no estado de São Paulo
Fonte: UNICA (2011).

Ripoli et. al. (1990) comenta que o processo de colheita com queima prévia deverá ser substituído pelo sistema de colheita de cana crua, por benefícios de ordem técnica, econômica, ambiental e agronômica.

Com todas as exigências ambientais e de matéria-prima mais limpa para a fabricação de açúcar, etanol e energia, a colheita mecanizada de cana sem queima prévia consolida-se como um processo de aproveitamento energético de todo o material vegetal produzido pela cultura da cana-de-açúcar (VEIGA FILHO et al., 1994).

Com o aumento da colheita de cana sem queima prévia surgiu então mais um novo subproduto da cultura, o palhiço, que vem a ser um material remanescente após a colheita sobre a superfície, constituído de folhas verdes, palhas, ponteiro, frações de colmos (industrializáveis ou não) e eventualmente frações de raízes e partículas de terra, o qual representa, em média, 32,5% da biomassa total do canavial. O palhiço tem função tanto na geração de energia elétrica como na cobertura vegetal de solo. Com isso já se estuda o conceito de colheita integral, com a intenção do aproveitamento máximo do mesmo (RIPOLI e VILLA NOVA, 1992; RIPOLI e RIPOLI, 2009). Os autores citam algumas vantagens e desvantagens do sistema de cana crua:

a) do ponto de vista agronômico, quando o palhiço decorrente deste processo permanece sobre o terreno, há os seguintes benefícios:

- diminuição ou até eliminação do uso de herbicidas;
- aumento e manutenção do grau de umidade do solo;
- eficiente mecanismo de controle de erosão;
- aumento da quantidade de matéria orgânica no solo;
- redução da população de nematóides nocivos;

b) sob o ponto de vista industrial, serão obtidos reflexos positivos em termos de menores perdas de sacarose, diminuição dos problemas de tratamento de águas de lavagem e no aproveitamento parcial do palhiço, que associado ao bagaço poderá ser utilizado na cogeração de energia elétrica pelas unidades industriais sucroalcooleiras.

As desvantagens da colheita em cana crua são:

- aumento do esforço físico dos cortadores;
- aumento dos riscos de acidentes ocupacionais;
- aumento da população de animais peçonhentos;
- redução no desempenho operacional de corte manual diário;
- aumento nos custos da tonelada cortada;
- aumento de matéria estranha mineral e vegetal;
- aumento de focos de doenças e pragas nos canaviais;
- exigência de modificação nos implementos e máquinas de cultivo e adubação;
- grandes riscos de incêndios acidentais ou propositais durante todo o ano;

Veiga Filho (1998) coloca a mecanização do processo produtivo agrícola como a principal fonte de crescimento depois da expansão da área e afirma que isso se consolida na mecanização do corte na colheita, a qual pode proporcionar redução do custo de produção agrícola e industrial, aumento na produtividade do trabalho, além de viabilizar a alternativa de colher cana crua.

Furlani Neto (1995) avaliou o desempenho operacional da colhedora Santal Amazón em canaviais com e sem queima prévia na região de Ribeirão Preto – Estado de São Paulo, nas variedades SP71-1406 e SP71-6163 e suas interações com a qualidade da matéria-prima colhida, perdas de material industrializável no campo, determinação das massas e energia contida nos resíduos de pós colheita. Sendo assim concluiu que o sistema de colheita mecanizada de cana crua é plenamente viável, pois embora resulte em diminuição no desempenho de corte, apresenta como vantagens a melhoria na qualidade tecnológica da matéria-prima para a indústria, a diminuição do material estranho e a conservação do resíduo pós-colheita sobre o solo, evitando, assim, considerável perda energética gerada pela queimada dos canaviais.

Furlani Neto et al. (1996) fizeram avaliações do desempenho operacional da colhedora Santal Amazón e os valores encontrados para a capacidade efetiva em cana crua foi de $57,78 \text{ t h}^{-1}$ de cana colhida. A quantidade tecnológica como Brix do

caldo, Pol do caldo e fibra da cana foram significativamente superiores para cana crua.

Magro (1998) refere-se também ao sistema como uma modalidade economicamente viável, que requer certo período de estudo, adaptação e mudanças, mas que proporcionará grandes benefícios para toda a sociedade, principalmente porque o meio ambiente relacionado à cultura será “quase totalmente preservado”.

4.3 Planejamento e dimensionamento do sistema mecanizado

De um modo geral o investimento apresenta maior chance de sucesso quando é realizado dentro de um planejamento adequado à necessidade de curto e longo prazo da empresa agrícola (NORONHA, 1981).

O planejamento e o dimensionamento do sistemas mecanizados foi uma das etapas mais importantes dentro do processo produtivo, considerada complexa devido a informação de valores e dados, algumas vezes sigilosos, como salário, valores de aquisição entre outros. Segundo Mialhe (1974) o dimensionamento de máquinas agrícolas é uma etapa decorrente a do planejamento para as operações a serem executadas. No dimensionamento diversos fatores devem ser considerados, tais como: Eficiência gerencial, capacidade de campo teórica e efetiva, e a Eficiência de campo. Nas operações de colheita, deve ser considerada a quantidade de matéria-prima a ser colhida, capacidade de produção (SANTOS, 2011).

Conforme Hunt (1977), o gerenciamento do maquinário agrícola é a área que tem por interesse a otimização dos estágios mecanizados da produção, cujo princípio primordial do enfoque é a seleção, operação, manutenção e reposição da maquinaria. As operações que compõem o sistema deve ser ajustada de modo que seus desempenhos propiciem melhores retornos ao investimento realizado.

Segundo RIPOLI (1990) “o planejamento de um sistema envolve conhecimentos das áreas de biologia (o que e quando fazer?), engenharia (com o que fazer?) e economia (como fazer?), o que demonstra as necessidades para a implantação, condução e retirada da cultura”. O autor mostra que o planejamento deve considerar o dimensionamento e a seleção dos equipamentos, máquinas e

implementos, bem como a análise dos custos que o sistema representará para a atividade agrícola.

Furlani Neto et al. (1989), avaliaram a influência do dessecante na colheita mecânica da cana-de-açúcar em São Paulo, verificaram que a capacidade efetiva da colhedora em canavial sem queima prévia com dessecante foi de $57,16 \text{ t h}^{-1}$, cerca de 95,6% da capacidade efetiva em cana previamente queimada. Sem o dessecante a capacidade efetiva foi de $59,82 \text{ t h}^{-1}$. Não houve influência da queima e do dessecante sobre a qualidade e as perdas da matéria-prima.

Rozeff (1989) realizou ensaios para verificar os efeitos da velocidade de operação de colheita sobre o desempenho da colhedora, em canaviais com e sem queima prévia no Estado do Texas (USA). A máquina estudada foi a Claas 1400, em quatro diferentes velocidades de deslocamento, 1,42; 2,46; 4,18 e $5,63 \text{ km h}^{-1}$ na variedade CP 70-321. Os resultados foram de que quanto maior a velocidade, maior a capacidade efetiva bruta (t h^{-1}), porém menor foi a porcentagem de colmos perfeitos.

Para Ripoli e Villanova (1992), com o desenvolvimento tecnológico e a sistematização dos talhões, as colhedoras de cana-de-açúcar em canaviais com queima prévia apresentam capacidade efetiva em torno de 60 t h^{-1} .

Soares et al. (1994) analisaram máquinas desenvolvidas especificamente para colheita em canaviais sem queima prévia em duas safras consecutivas na Usina São Francisco, Estado de São Paulo. Os resultados obtidos foram: capacidade efetiva $60,40 \text{ t h}^{-1}$ e capacidade operacional $22,10 \text{ t h}^{-1}$, valores considerados bastante satisfatórios.

O Cenicaña (1996) avaliou o desempenho na colhedora Austoft 7700, em canaviais sem queima prévia na Colômbia. O ensaio foi feito em áreas de 0,68 ha. A máquina permaneceu no campo por 273 minutos, dos quais 57% colhendo cana, 27% em giros (manobras) esperando vagões ou para descarregar a cana, e 5% em outras atividades. A velocidade média de colheita foi de $1,82 \text{ km h}^{-1}$. Os resultados de desempenho obtidos foram de capacidade efetiva de campo, capacidade teórica de campo e índice de matéria estranha na ordem de $21,8 \text{ t h}^{-1}$, 38 t h^{-1} e 10,3%, respectivamente.

As modernas colhedoras da Austrália possuem capacidade efetiva de 120 t h^{-1} , mas em boas condições de campo podem chegar a 180 t h^{-1} . A colhedora em cana sem queima prévia chega a 60 t h^{-1} , desempenho operacional baixo, o que pode aumentar os custos de colheita (SCHEMBRI e GARSON, 1996).

Scandaliare et al.(1997) fizeram levantamento de 29 máquinas colhedoras de cana-de-açúcar operando em canaviais sem queima prévia, no ano de 1996, na Argentina. Os modelos das máquinas avaliadas foram os mais recentes lançados no mercado, sendo que cada uma colheu de 74.000 a 112.000 toneladas na safra em estudo. As 29 máquinas colheram de 325 a 628 toneladas por dia de safra. As perdas de tempo nas frentes de colheita foram em torno de $4,95 \text{ horas dia}^{-1}$, e as causas constatadas foram referentes à falta de transporte, a problemas mecânicos, à manutenção geral e a outros. O consumo de combustível para cada tonelada de cana colhida variou entre 0,9 a 1,6 litros. Os fatores que mais influenciaram o consumo de combustível foram o estado de umidade do canavial (épocas secas e chuvosas ao longo da colheita), a produtividade da cana (t h^{-1}) e o comprimento dos talhões.

O Cenicaña (1997b) fez ensaio para avaliar a colhedora Austoft 7700, em canaviais sem queima prévia, em uma área de 4,8 ha, com a variedade CC 85-68 de 13,4 meses de idade e produtividade média de 211 t ha^{-1} . A colhedora Austoft 7700 apresentou os seguintes dados de desempenho: eficiência de campo 51%, capacidade efetiva de campo $37,0 \text{ t h}^{-1}$, capacidade teórica de campo $73,0 \text{ t h}^{-1}$ e matéria estranha em torno de 11,73%.

Carvalho Filho (2000) realizou um estudo que tinha como objetivo avaliar o desempenho operacional e econômico de uma colhedora em cana sem queima prévia. O estudo foi realizado na Usina Cosan, unidade Barra, no município de Barra Bonita, no Estado de São Paulo. A variedade colhida foi a FR 83-5089, em terceiro corte, com espaçamento entre fileiras de 1,4m e com produtividade média de $176,26 \text{ t ha}^{-1}$. As velocidades de operação foram 1,5; 3,0; 5,0 e $7,0 \text{ km h}^{-1}$. O autor concluiu que, quanto à capacidade efetiva bruta ocorreram diferenças estatísticas entre as velocidades de operação mais baixa, de 1,5 e $3,0 \text{ km h}^{-1}$ e entre as mais altas 5,0 e $7,0 \text{ km h}^{-1}$. No que diz respeito ao consumo de combustível em litros por hora, o menor foi na velocidade de $1,5 \text{ km h}^{-1}$ e o maior na velocidade de $7,0 \text{ km h}^{-1}$. No que se refere ao consumo de combustível em litros por tonelada, o menor valor foi com

velocidade de 7 km h⁻¹ e o maior com 1,5 km h⁻¹. As baixas velocidades e eficiências de campo elevam o custo por tonelada de cana colhida, uma vez que a vida útil economicamente ideal para a colhedora é de seis anos, já que a partir do sétimo ano o custo de reparo e manutenção torna-se bastante elevado.

Nery (2000) avaliou o desempenho operacional e econômico de colhedora operando em canavial sem queima prévia. Os ensaios foram realizados na Usina Cosan unidade Barra, no período de 07 a 17 de Julho de 1998. Foi empregada uma colhedora de 325 hp e rodados de esteira. A variedade utilizada foi a RB 83-5089, em terceiro corte, com espaçamento entre fileiras de 1,40m, com produtividade média de 176,26 t ha⁻¹. No estudo consideraram-se quatro velocidades de deslocamento: 1,5; 3,0; 5,0 e 7,0 km h⁻¹ e eficiência de campo de 45, 55, 65 e 75%. O autor concluiu que o aumento da velocidade de operação implica no aumento da capacidade efetiva bruta de colmos e, quanto ao consumo de combustível por tonelada de cana colhida houve um decréscimo operacional ao aumento da velocidade. O custo por tonelada de cana colhida foi decrescente com o aumento da velocidade de operação. Os melhores desempenhos econômicos foram nas duas maiores velocidades e em todas as eficiências de campo consideradas.

Yadav et al. (2002) realizaram um estudo com uma colhedora nas localidades de Erode e Baramati, com a variedade CO 86-032, espaçamento entre fileiras de 1,5 m e produtividade de 123,92 t ha⁻¹ e de 103,57 t ha⁻¹, respectivamente. A capacidade de processamento da colhedora foi de 29,35 t h⁻¹ e 23,9 t h⁻¹, com velocidade de operação de 4,45 e 4,07 km h⁻¹, capacidade de campo de 0,30 e 0,24 ha h⁻¹ e eficiência de 44,44% e 39,35%, para as localidades, respectivamente.

Belardo (2010) avaliou três colhedoras de cana-de-açúcar. A variedade estudada foi a RB 85-5453, primeiro corte, com produtividade média de 100 t ha⁻¹, espaçamento entre fileiras de 1,5 m e colheita sem queima prévia. Nos tratamentos foram determinadas duas velocidades de operação, sendo a de 5 km h⁻¹, considerada pela usina como padrão, e outra a 7 km h⁻¹ para as três colhedoras ensaiadas. O autor concluiu que houve diferença entre as três máquinas na capacidade efetiva bruta para as duas velocidades e para o consumo em litros por hora.

Santos (2011) desenvolveu um modelo, em formato de planilha eletrônica e linguagem de programação. Os resultados evidenciaram que a eficiência de campo

e o valor de aquisição da colhedora são variáveis de grande impacto no custo. E que o aumento da produtividade ($t\ ha^{-1}$) do talhão impacta diretamente na redução do custo de produção ($R\$ t^{-1}$).

4.4. Dimensionamento econômico de sistemas mecanizados de colheita

A agricultura brasileira é hoje um dos setores econômicos mais estratégicos para a consolidação do programa de estabilização da economia. A grande participação e o efeito multiplicador do complexo agroindustrial no PIB e o peso dos produtos de origem agrícola na pauta de exportação, são exemplos da sua importância para o desempenho econômico do Brasil (SILVA, 2004).

Uma vez determinado o planejamento de uma empresa do agronegócio, seja na propriedade rural ou na agroindústria, o projeto de investimento ou o conjunto de projetos deve receber uma análise individual de sua rentabilidade potencial. Desta análise e avaliação resulta a seleção das melhores alternativas para a empresa agrícola, ou até mesmo, a identificação de possíveis modificações no plano original, sempre com o pressuposto de maximização dos lucros da empresa (NORONHA, 1981).

Ripoli e Mialhe (1983), estudando custos de colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo na safra de 81/82, encontraram valores para dois sistemas de colheita: a) o manual, com carregamento mecânico e b) mecanizado por colhedora combinada, em função de três níveis de vida útil. No primeiro nível, com 100 mil toneladas de vida útil, o corte manual com carregamento mecânico apresentou um custo de $US\$ t^{-1}$ 3,02, sendo este o menor custo de colheita. No segundo e terceiro níveis de vida útil, 200.000 e 300.000 toneladas, o subsistema mecanizado por colhedora combinada obteve os menores custos, ou sejam $US\$ t^{-1}$ 2,20 e 1,88, respectivamente. O subsistema de colheita mecânica por colhedora combinadas constitui uma opção técnica economicamente viável para os canaviais brasileiros.

Broussard (1987) estudando critérios para a seleção de máquinas colhedoras de cana-de-açúcar, na Lousiana (EUA), fez avaliação dos custos de três modelos de colhedoras existentes no mercado. Os custos de colheita foram calculados pela relação entre capacidade operacional e o custo-hora da colhedora. Os valores dos custos de colheita encontrados para os três modelos variaram de $US\$ t^{-1}$ 1,0; 2,0; 3,0;

4,0 a 10,5; para as capacidades operacionais de 80,0; 40,0; 20,0; 15,0 e 5,0 t h⁻¹, respectivamente.

Banchi et al. (2008a) realizaram um estudo com colhedoras em oito usinas de cana-de-açúcar no País e concluíram que, no chamado custo global, os custos fixos atingem 33%, os de reparo e manutenção 33%, o combustível 30% e o lubrificante 4%. No custo de reparo e manutenção, 16% são provenientes de mão-de-obra, 22% de terceiro e 62% de peças. Ao analisar as participações operacionais de caminhões, máquinas e veículos, a fim de identificar os constituintes dos custos operacionais, Banchi e Lopes (2005) constataram que os fatores mais significativos no custo operacional foram o combustível com 34,9% e peças e rateios com 23,5%.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado na Destilaria Pyles Ltda., localizada no município de Platina, no vale do Paranapanema (SP). A destilaria produz etanol anidro e hidratado, com capacidade de produção de 28.000 m³ e processamento de 1.500 t por dia de safra em turnos de 24 horas, que chega a 300.000 t por safra. A destilaria processa 28% de cana própria e 72% de cana de terceiros.

O período de safra é de abril a novembro, época com menor incidência de chuvas (Figura 10), onde ocorre, em média, 200 dias agronomicamente seco, os quais são passíveis de tráfego de máquinas no campo. A área da destilaria possui solos com predominância de textura média argilosa e arenosa.

Figura 10 - Pluviosidade média mensal na região do estudo de caso (2002-2011)

Fonte: CATI (2012)

A área mecanizável com cana-de-açúcar da destilaria é de 4.385 ha, com a distribuição de 30% de variedade com maturação precoce, 23,7% de variedade com maturação no meio da safra, e 46,3% de cana tardia. A taxa anual de reforma de canaviais é de 20%, o que resulta em uma área para colheita tanto de cana própria quanto cana comprada de 3.500 ha. A produtividade média da destilaria é de 85 t ha⁻¹. As áreas agrícolas ficam a uma distância média de 15 km da unidade industrial.

A estratégia da empresa é a de realizar o corte mecânico e o carregamento com recursos próprios. O transporte, item não analisado nesse estudo, também é realizado por frota própria. O preço cobrado pela destilaria ao fornecedor de cana

para efetuar o serviço de corte e carregamento mecanizado, sem queima prévia é de R\$ 17,00 por tonelada.

5.1 Planejamento e dimensionamento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar

As etapas necessárias para o dimensionamento do número de colhedoras, Figura 11. Observa-se que o planejamento para a determinação do número de colhedoras necessárias para o modelo, utiliza-se de uma análise operacional, no qual a colheita e a época de realização são definidas para o cálculo do número de conjuntos. Posteriormente, inicia-se o planejamento da seleção de sistemas mecanizados, com a estimativa do tempo disponível medido em horas que a máquina pode trabalhar em função das condições edafo-climáticas, cultura e do regime de trabalho adotado. O tempo disponível associado à quantidade de cana a ser colhida, fornece o ritmo operacional, que expressa a quantidade de trabalho a ser realizado na unidade de tempo. A associação do ritmo operacional e do desempenho operacional da colhedora, define-se o número de colhedoras necessários para atender as premissas do modelo.

Figura 11 - Fluxograma das etapas para a definição do número de conjuntos necessárias para o estudo

Fonte: Mialhe (1974)

5.1.1 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 da jornada de trabalho e do aproveitamento das horas disponíveis para o trabalho, eq. 1, adaptada de Mialhe (1974).

$$TD = \{ [Nt - (Ndf + Ndui)] \times (Jt \times Eg) \} \quad (1)$$

onde:

TD = tempo disponível para realizar cada operação em horas;

Nt = número de dias contido no período determinado para realização da operação;

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

Ndui = número de dias úteis impróprios ao trabalho das máquinas;

Jt = jornada de trabalho adotada em horas;

Eg = eficiência de gerenciamento ou administrativa em porcentagem.

A jornada de trabalho (*Jt*) e os dias de descanso remunerados (*Ndf*) devem estar de acordo com o sistema de trabalho da propriedade sem deixar 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 úteis impróprios (*Ndui*). Para o cálculo 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 uma restrição ao trabalho das máquinas e abaixo da capacidade de campo, denominado de seca agrônômica, 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.

A eficiência de gerenciamento ou administrativa (*Eg*) pode ser interpretada como um fator de correção para a jornada de trabalho da empresa. Embora a jornada prevista deva durar um determinado número de horas, as perdas de tempo

associadas a falhas administrativas concorrem para a sua redução. Atrasos na entrega de insumos ou no reparo das máquinas, tempo desperdiçado pelo operador, erros na alocação de máquinas compõem alguns dos fatores associados à eficiência de gerenciamento, não podendo ser atribuídos às máquinas.

5.1.2 Estimativa do ritmo operacional – RO

Definido o tempo disponível a próxima fase é o cálculo do ritmo operacional (RO), que é a razão entre a quantidade de trabalho a ser realizado dentro do tempo disponível para cada operação, segundo a eq. 2 (MIALHE, 1974).

$$RO = \frac{C_{colh}}{TD} \quad (2)$$

onde:

RO = ritmo operacional em $t \ h^{-1}$;

C_{colh} = quantidade de cana a ser colhida em toneladas (t).

Até esse ponto definiu-se o sistema de produção, as operações e as épocas de suas realizações. 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.

5.1.3 Capacidade de produção operacional – CPO

A avaliação da capacidade de trabalho das máquinas na agricultura é de difícil obtenção. Existe uma variação considerável para as condições operacionais, normalmente influenciadas por fatores de relevo, condições climáticas, superfície do solo e da cultura, presença de obstáculos, entre outros.

O desempenho operacional de uma máquina é avaliado de acordo com a quantidade de trabalho, medido em quantidade de cana colhida, que a máquina realiza na unidade de tempo. Autores como Mialhe (1974) e Witney (1988), fazem referência a esse item, adotando diversos critérios para a análise. A metodologia proposta por Milan (2004) define a capacidade de campo efetiva como o produto da

largura e velocidade efetiva de trabalho da máquina. A largura e a velocidade efetiva são aquelas obtidas durante a operação, eq. (3).

$$CCE = \frac{Lef \times Ve}{10} \quad (3)$$

onde:

CCE = capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

Lef = largura efetiva de trabalho (m);

Ve = velocidade efetiva de trabalho (km h^{-1}).

Para a capacidade de campo operacional, leva-se em conta o tempo de produção, ou seja, o tempo que a máquina levou realizando a operação a qual foi projetada (definido pela CCE), além da Eficiência de Colheita (*Efc*), expressando o aproveitamento da capacidade potencial da máquina para a realização da operação para a qual foi destinada, eq. (4).

$$CCO = CCE \times Efc \quad (4)$$

onde:

CCO = capacidade de campo operacional (t h^{-1});

Efc = eficiência de colheita (%).

A capacidade de produção operacional é definida pelo produto da capacidade de campo e da produtividade média teórica, eq. (5).

$$CPO = CCO \times PrT \quad (5)$$

onde:

CPO = capacidade de produção operacional (t h^{-1});

PrT = Produtividade média teórica (t ha^{-1}).

5.1.4 Número de colhedoras – NC

O cálculo do número de colhedoras é mostrado na eq. (6), de acordo com a razão entre o ritmo operacional e a capacidade de produção operacional da máquina agrícola (MIALHE, 1974).

$$NC = \frac{RO}{CPO} \quad (6)$$

onde:

NC = número de colhedoras, em unidades;

CPO = capacidade de produção operacional ($t\ h^{-1}$);

RO = Ritmo operacional ($t\ h^{-1}$).

A partir da definição do número de colhedoras, verifica-se a necessidade de transbordos e tratores para tracioná-los. Para o estudo de caso, cada colhedora necessita de dois tratores de 180 cv, em que cada trator traciona dois transbordos de 8 toneladas cada. Essas quantidades são determinadas de acordo com o sistema de transporte da cana picada do campo para a destilaria, para evitar que a colhedora fique parada por ausência de sistema de descarregamento. Por questões estratégicas, a destilaria realiza o carregamento e transporte da cana colhida, ficando também sob sua responsabilidade o corte mecanizado pelas colhedoras.

A destilaria também definiu, por questões logísticas, que a cada três colhedoras é necessário um caminhão bombeiro (limpeza e emergência), um caminhão comboio (abastecimento e lubrificação) e um caminhão prancha (transporte a longas distâncias de colhedoras), para a realização de atividades complementares à colheita mecanizada.

5.2 Custo operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar

O custo do sistema mecanizado foi calculado relacionando-se o desempenho operacional e econômico de acordo com a metodologia proposta por Mialhe (1974), cujo fluxograma encontra-se na Figura 12. Observa-se que o processo se inicia com a definição dos valores para os dados relativos à máquina: valor inicial, consumo de combustível, vida útil, valor residual (valor final), horas trabalhadas anuais, fator de reparo e manutenção, alojamento, seguro e taxas e taxas de juros. Com esses

dados calcula-se o custo horário da colhedora. Posteriormente define também os dados relativos ao desempenho englobando a largura de trabalho da máquina, velocidade de operação, preço do combustível e eficiência da colheita. Com os dados de desempenho e produtividade média a área calcula-se a capacidade de produção operacional. O custo operacional é razão entre o custo horário e a capacidade de produção operacional. A partir do custo operacional, é determinado o custo total de colheita por meio da quantidade de cana colhida.

Figura 12 – Fluxograma para determinação do custo operacional do sistema mecanizado de colheita de cana-de-açúcar

Fonte: ASAE (1999).

5.2.1 Custo Horário – CH

O custo horário, CH, é classicamente dividido em custos fixos e variáveis. Os custos fixos independem do uso da máquina, englobando a depreciação, os juros, o alojamento seguro e taxas. O custo variável depende do uso da máquina e reflete os gastos com o combustível, o reparo e a manutenção (ASAE, 1999). O CH é expresso matematicamente pela eq. (7).

$$CH = CFh + CVh \quad (7)$$

onde:

CH = custo horário (R\$ h⁻¹);

CFh = custo fixo horário (R\$ h⁻¹);

CVh = custo variável horário (R\$ h⁻¹).

O custo fixo horário, CFh, das máquinas agrícolas é determinado por meio da eq. (8).

$$CFh = \frac{Vi \times \left[\left(1 - Vf \right) + \left(\frac{1 + Vf}{2} \right) \times i + AST \right]}{\frac{Vuh}{Vua}} \quad (8)$$

onde:

CFh = custo fixo horário (R\$ h⁻¹);

Vi = valor inicial do sistema mecanizado (R\$);

Vf = valor final do sistema mecanizado, em decimal;

i = taxa de juros, em decimal;

AST = alojamento, seguros e taxas, em decimal;

Vuh = vida útil do sistema mecanizado (h);

Vua = vida útil do sistema mecanizado, em anos.

Nesse estudo, a depreciação das máquinas agrícolas foi calculada e adicionada no fluxo de caixa do projeto.

O custo variável horário, CVh, é calculado de acordo com a eq. (9).

$$CVh = CHC + \left[FRM \times \left(\frac{Vi}{Vuh} \right) \right] \quad (9)$$

onde:

CVh = custo variável horário (R\$ h⁻¹);

CHC = custo horário do combustível (R\$ h⁻¹);

FRM = fator de reparos e manutenção, em decimal.

De acordo com Milan (2004), em se tratando de motores de ciclo Diesel empregados na maquinaria agrícola, um coeficiente de consumo de combustível é obtido com base em dados médios com a finalidade de se prever o custo, visualizado nas eq (10) e (11).

$$Ccb = 0,163 \times PM \quad (10)$$

onde:

Ccb = consumo de combustível (L h⁻¹);

0,163 = fator para motores diesel (L cv⁻¹ h⁻¹);

PM = potência líquida do motor (cv).

Com base no consumo, calcula-se o custo horário do combustível (CHC), eq. (11).

$$CHC = Ccb \times PL \quad (11)$$

onde:

PL = preço do combustível (R\$ L⁻¹).

5.2.2 Custo Operacional – Cop

O custo operacional é definido como a relação entre o custo horário do conjunto mecanizado e a sua capacidade de trabalho, eq. (12).

$$COp = \frac{CH}{CPO} \quad (12)$$

onde:

COp = custo operacional (R\$ t⁻¹);

CH = custo horário total das colhedoras (R\$ h⁻¹);

CPO = capacidade de produção operacional (t h⁻¹).

5.2.3 Custo total do sistema mecanizado de colheita

A partir do cálculo do custo operacional do sistema mecanizado de colheita de cana-de-açúcar (corte e carregamento), determina-se o custo operacional total da operação, por meio da eq. (13).

$$CT = COpcorte + COpcarregamento + Ceqaux + Cmdo \quad (13)$$

onde:

COpcorte = custo operacional corte (R\$ t⁻¹);

COpcarregamento = custo operacional carregamento (R\$ t⁻¹);

Ceqaux = custo equipamentos auxiliares (R\$ t⁻¹);

Cmdo = custo mão-de-obra (R\$ t⁻¹).

Os valores de COpcorte e COpcarregamento são determinados de acordo com a descrição do item 5.2 por meio do modelo desenvolvido no software Microsoft Excel. No entanto, os valores de Ceqaux e Cmdo foram determinados pela equipe técnica da destilaria em estudo.

5.3 Premissas e fontes dos dados

O estudo de caso considerou um cenário base envolvendo a produtividade média do canavial de 85 t ha⁻¹, devido a sua importância no dimensionamento no número de colhedoras. O modelo de custo operacional e análise de sensibilidade foram desenvolvidos no software Microsoft Excel 2007 para obtenção dos resultados.

5.3.1 Investimentos, custo operacional e despesas

A equipe técnica da destilaria foi consultada para definir os valores das variáveis necessárias para o dimensionamento do número de colhedora conforme as metodologias descritas por Mialhe (1974), cujos valores encontram-se na Tabela

Tabela 1 - Variáveis utilizadas para o cálculo do número de colhedoras

Variáveis	Dados
Período da Safra (época)	1 de abril a 30 de novembro
Jornada de Trabalho (horas)	24
Dias Agronomicamente Secos	213
Eficiência Gerencial (%)	70
Área Colhida (ha)	3500
Largura Efetiva Colhedora (m)	1,5
Eficiência Operacional (%)	55
Velocidade (km h ⁻¹)	4,5

Fonte: Destilaria Pyles

Para avaliação do custo horário e operacional das colhedoras, o valor de aquisição da máquina e de combustível foi pesquisado na região do estudo de caso. Os percentuais das variáveis determinantes do custo horário são definidos por ASAE (1999) e encontram-se na Tabela 2. O valor dos juros é considerado o financiamento do BNDES, por meio do FINAME, conforme BRASIL (2011).

Tabela 2 - Variáveis utilizadas para o cálculo do custo horário e operacional das colhedoras

Variáveis	Dados
Valor Inicial - VI (R\$)	900.000
Valor Final (% de VI)	15
Vida Útil (anos)	10
Vida Útil (horas)	19.000
Horas Trabalhadas Anuais	1.900
Juros (%)	6,75
Alojamento, Seguros e Taxas - AST (% de VI)	1
Fator de Reparo e Manutenção - FRM (% de VI)	100
Potência do Motor (cv)	342
Preço do Combustível (R\$ L ⁻¹)	1,90

Fonte: Destilaria Pyles

A partir da determinação do número de colhedoras, verificou-se o número necessário de tratores e transbordos para o carregamento da cana colhida. Para o estudo de caso, cada colhedora necessita de quatro unidades de transbordo (tracionado por tratores de 180 cv, em que cada trator reboca dois transbordos de 10 toneladas unitárias). Essas quantidades são determinadas de acordo com o sistema de transporte da cana picada do campo para a destilaria, para evitar que a colhedora fique parada por ausência de unidades de transporte. A Tabela 3 mostra os valores das máquinas destinadas para o carregamento e as proporções necessárias em relação ao número de colhedoras. Levou-se em consideração a vida útil dos equipamentos de 10 anos para todos, devido as boas condições de uso e manutenção, uma vez que a destilaria em estudo adota um programa de manutenção preventiva e preditiva, com a finalidade do aumento dessa vida útil.

Tabela 3 - Valores dos tratores e transbordos para o carregamento da cana-de-açúcar

Variáveis	Dados
Valor Inicial Trator JD 7715 (R\$)	185.000
Valor Inicial Transbordo(R\$)	75.000
Valor Final (% VI)	15
Vida Útil Máquinas (anos)	10
Proporção de Transbordo e Trator	2:1
Proporção de Colhedoras e Transbordo+Trator	2:1

Fonte: Destilaria Pyles

O sistema de colheita mecanizada necessita de equipamentos auxiliares para a sua manutenção, como um caminhão prancha, um caminhão comboio e um caminhão bombeiro. Os custos de manutenção da colhedora já estão acrescidos no custo horário da colhedora. Os valores de aquisição e residual desses equipamentos, necessários para a implantação do modelo de colheita mecanizada, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores dos equipamentos auxiliares para a manutenção das colhedoras

Variáveis	Dados
Valor Inicial Caminhão Bombeiro (R\$)	310.000
Valor Inicial Caminhão Comboio (R\$)	250.000
Valor Inicial Caminhão Prancha (R\$)	450.000
Vida Útil (anos)	10
Proporção de Colhedoras e Equipamentos auxiliares	3:1

Fonte: Destilaria Pyles

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do trabalho estão divididos em duas etapas. A primeira se refere ao custo operacional do sistema de colheita mecanizado no estudo de caso e seu desmembramento. E a segunda etapa é realizado uma análise de sensibilidade das variáveis.

Resultados gerais são apresentados na Tabela 5 e 6.

Tabela 5 - Resultados referentes ao modelo de dimensionamento

Número de colhedoras necessárias	2,63 arredondado para 3
Número de conjuntos trator + transbordo	6
Número de conjuntos de equipamentos auxiliares	1
Tempo Disponível – h	3.578,40
Ritmo Operacional - ha h ⁻¹	0,9781
Capacidade de Campo Operacional - ha h ⁻¹	0,3713
Capacidade de Produção - t h ⁻¹	31,56

Tabela 6 - Resultados do custo operacional

Custos	Colhedora/ Transbordo/ Eq. Auxiliares
Custo Fixo Anual - R\$ Ano ⁻¹	330.772,19
Custo Fixo Horário - R\$ h ⁻¹	117,55
Depreciação - R\$ Ano ⁻¹	175.675,00
Juros - R\$ Ano ⁻¹	92.247,19
Alojamento, Seguro e Taxas - R\$ Ano ⁻¹	62.850,00
Custo Variável Horário - R\$ h ⁻¹	373,17
Custo com Combustível - R\$ h ⁻¹	162,28
Custo com Reparos e Manutenção - R\$ h ⁻¹	63,65
Custo com Mão-de-obra - R\$ h ⁻¹	147,24
Custo Horário Total - R\$ h ⁻¹	490,72
Custo Operacional - R\$ ha ⁻¹	1.321,80
Custo Operacional Total - R\$ t ⁻¹	15,55

Na Tabela 5, o ritmo operacional necessário para atender a demanda de produção de cana de 297.500 t na safra, correspondente à área de 3.500 ha, é de 0,9781 ha h⁻¹, nas condições apresentadas e para um canavial com produtividade média de 85 t ha⁻¹. Nessas condições, a colhedora tem a capacidade operacional de 0,3713 ha h⁻¹ e uma capacidade de produção de 31,56 t h⁻¹. Para o estudo de caso três colhedoras, seis tratores, doze unidades de transbordo e um conjunto de equipamentos auxiliares são necessários.

Na Tabela 6, o custo fixo anual e horário é de R\$ 330.772,19 e R\$ 117,55 h⁻¹, respectivamente. O custo variável horário é de R\$ 373,17 h⁻¹, resultando em um custo horário total de R\$ 490,72 h⁻¹. O custo operacional por hectare é de R\$ 1.321,80 e o operacional total de R\$ 15,55 t⁻¹

6.1 Custo Fixo

Na Figura 13, observa-se a distribuição do custo fixo horário. A depreciação responde a maior fatia, 57%, devido ao elevado valor de aquisição dos conjuntos para atender o estudo. Com 28% apresenta-se os juros e a metade do mesmo, 14%, é a taxa de alojamento e seguro, que corresponde a 1% do valor inicial das colhedoras, tratores e transbordos e 5% do valor inicial dos equipamentos auxiliares.

Figura 13 – Distribuição do custo fixo horário: Depreciação – (DPA), Juros anuais – (JRA) e Alojamento, seguro e taxas – (ASTA)

6.2 Custo Variável

O custo variável horário foi dividido em três partes, consumo de combustível, representando 39%, custo da mão-de-obra com 43%, e o custo de reparo e manutenção, equivalente a 100% do valor total inicial, com uma fatia de 17%. Apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Distribuição do custo variável horário: Custo do consumo de combustível – (CCB), Custo de reparo e manutenção – (CRM) e Custo com mão-de-obra horário – (CMOH)

6.3 Custo Total

O custo total horário está dividido de três maneiras. A primeira por todas as variáveis do custo fixo e variável, apresentando um peso impactante do consumo de combustível com 33% ou R\$ 5,14 t⁻¹, seguido bem próximo pelo custo da mão-de-obra com 30%. O segundo gráfico indica a divisão por equipamento com um peso maior para a colhedora com 52% ou R\$ 8,15 t⁻¹, devido ao seu elevado valor de aquisição em seguida os tratores, com 26%, acompanhado pelos transbordos, equipamentos auxiliares e outros com 4%; 13% e 6% respectivamente. Em seguida apresenta-se a divisão por tipo custo, sendo R\$ 11,83 t⁻¹ ou 76% o custo variável e R\$ 3,73 t⁻¹ ou 24% custo fixo (Figura 15).

Figura 15 – Distribuição do custo total horário: Custo fixo horário – (CFH) e Custo variável horário – (CVH)

6.4 Análise de sensibilidade do planejamento

A análise de sensibilidade tem como objetivo mensurar as oscilações observadas nos resultados, quando é induzida a uma variação, dentro de certos intervalos, daqueles parâmetros sujeitos a maior incerteza (CONTADOR, 1988; ROSS et al., 2002).

O método de aplicação de sensibilidade consiste em estabelecer certa amplitude de variação às premissas do modelo e observar as resposta que estas

mudanças causam nos indicadores. Quanto maior o impacto, mais significância possui a variável dentro do modelo (ZILIO, 2009).

6.4.1 Impacto da velocidade no custo operacional por tonelada

Figura 16 – Variação da velocidade (km h⁻¹) em função do custo operacional (R\$ t⁻¹) e o número de conjuntos

Na Figura 16, observa-se que a velocidade de trabalho da colhedora no cenário base é de 4,5 km h⁻¹ e o custo operacional de R\$ 15,55 t⁻¹. Quando a velocidade é acrescida para 5,5 km h⁻¹ e considerando que todas as variáveis continuem constantes, o custo operacional é reduzido para R\$ 12,87 t⁻¹. Em situações em que a velocidade é reduzida para 3,5 km h⁻¹ e considerando que todas as variáveis continuem constantes, o custo tem um aumento de 39% em comparação ao cenário base, chegando a um valor de R\$ 21,66 t⁻¹. Em relação ao número de conjuntos para a classe de velocidade 4 a 5,5 km h⁻¹, a quantidade oscila entre 2,96 a 2,16, sendo assim, por critério de arredondamento, são necessários 3 conjuntos. Para a velocidade de 3,5 km h⁻¹, o número de conjuntos fica superior a 3, chegando então a 3,39, usando o mesmo critério de arredondamento seria necessário então 4 colhedoras.

Schmidt Junior (2011) fez ensaio com o objetivo de avaliar a combinação ideal entre a velocidade de deslocamento e a velocidade do extrator primário. O estudo foi realizado na Usina Jalles Machado, no estado de Goiás. O espaçamento utilizado era de 1,5 metros e a produtividade de 85 t ha^{-1} . A eficiência de manipulação não apresentou diferença entre os tratamentos, sendo as perdas totais apresentadas a partir da velocidade de 7 km h^{-1} .

6.4.2 Impacto da eficiência operacional no custo operacional por tonelada

A Figura 17, apresenta o cenário base com a eficiência operacional de 55% e o custo operacional de R\$ 15,55 t^{-1} . Nota-se que é inversamente proporcional o aumento da eficiência ao custo operacional por tonelada. Em uma eficiência de 65%, mantendo todas as variáveis constantes, o custo operacional reduz em R\$ 2,29 t^{-1} , em situação inversa, quando a eficiência é de 45% o mesmo aumenta em 31,90%, chegando a R\$ 20,51 t^{-1} . Já em relação ao número de conjuntos necessários para atender o modelo estudado, a eficiência pode cair até a 50% que a quantidade de equipamento será a mesma do cenário base, porém caso chegue a 45% de eficiência será necessário 3,22, usando o critério de arredondamento então 4 colhedoras.

Figura 17 – Variação da eficiência operacional (%) em função do custo operacional (R\$ t^{-1}) e o número de conjuntos

6.4.3 Impacto da eficiência gerencial no custo operacional por tonelada

Observa-se novamente na Figura 18, que no cenário base, a eficiência gerencial é de 70% e o custo operacional por tonelada é de R\$ 15,55 t^{-1} . Quando aumenta-se a eficiência gerencial para 80%, com todas as variáveis constantes, o custo da colheita reduz em 3,79%, chegando a um valor de R\$ 14,96 t^{-1} . Em situação contrária quando a eficiência gerencial praticada é de 60%, com todas as variáveis constantes, há um aumento no custo de R\$ 2,05 t^{-1} ou 13,18%. Em relação ao número de conjuntos necessários, no intervalo de 65% a 80% o valor oscila de 2,84 a 2,31, sendo assim, o mesmo número necessário para o cenário base, arredondado para 3 conjuntos. Uma vez que a eficiência gerencial reduza a 60% então serão necessários 3,07 conjuntos, arredondando-se para 4 colhedoras.

Figura 18 – Variação da eficiência gerencial (%) em função do custo operacional (R\$ t^{-1}) e o número de conjuntos

6.4.4 Impacto da vida útil dos equipamentos no custo operacional por tonelada

Observa-se que na Figura 19, que a vida útil trabalhada dos equipamentos no cenário base é de 10 anos e um custo operacional de R\$ 15,55 t^{-1} . Quando há uma variação dessa vida útil para 5 anos, mantendo todas as variáveis constantes,

resulta em uma acréscimo de 26,82% chegando ao valor de R\$ 19,72 t⁻¹. Isso ilustra claramente peso da depreciação no custo fixo. Nota-se também que o número de conjuntos necessários não houve alteração, provando assim que não há correlação entre vida útil e número de colhedoras.

Figura 19 – Variação da vida útil em anos em função do custo operacional (R\$ t⁻¹) e o número de conjuntos

6.4.5 Impacto da produtividade agrícola no custo operacional por tonelada

Figura 20 – Variação da produtividade agrícola (t ha⁻¹) em função do custo operacional (R\$ t⁻¹) e o número de conjuntos

Na Figura 20, observa-se que no modelo estudado existe uma correlação inversa entre a produtividade agrícola e o custo operacional, no cenário base em que o custo é de R\$ 15,55 t⁻¹ a produtividade agrícola é de 85 t ha⁻¹. Quando a produtividade aumentar em 10 t ha⁻¹ e considerando que todas as variáveis continuem constantes, o custo operacional reduzirá em 10,55% chegando a R\$ 13,91 t⁻¹. Em situação inversa quando a produtividade por hectare estiver em 75 t ha⁻¹ e considerando que todas as variáveis continuem constantes, irá sofrer um acréscimo R\$ 2,07 t⁻¹.

6.5 Impacto médio das variáveis no custo operacional

Para avaliar o impacto de cada variável no custo operacional de produção realizou-se uma análise de sensibilidade envolvendo: valor inicial (VI), custo do consumo de combustível (CCB), mão-de-obra (MO), custo de reparo e manutenção (CRM) e taxa de juros (JRA). Cada variável foi acrescida de 10% individualmente e os efeitos no custo operacional de produção foram observados, Figura 21.

Figura 21 - Análise de sensibilidade para o cenário base: Valor inicial – (VI), Custo do consumo de combustível – (CCB), Mão-de-obra (MO), Custo de reparo e manutenção – (CRM) e Juros anuais – (JRA)

Na Figura 21 observa-se que um acréscimo de 10% no valor inicial de todos os equipamentos representa um aumento de 3,67%, chegando a R\$ 16,12 t⁻¹. Em seguida o mesmo acréscimo no custo de consumo de combustível e na mão-de-obra, representa um aumento de 3,28 e 3,02% respectivamente. Sendo esses três componentes os de maior peso na formação do preço do custo de produção. O custo de reparo e manutenção e juros, apresentam-se com um menor impacto, com um aumento de 1,16 e 0,71% respectivamente, em relação ao cenário base de R\$ 15,55 por tonelada.

7 CONCLUSÕES

Face aos resultados obtidos e as discussões efetuadas, pode-se concluir que:

O modelo desenvolvido nesse trabalho permite ser aplicado para efetuar o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar no estudo de caso.

Para as condições do estudo, verificou-se que são necessária três colhedoras, seis tratores, doze unidades de transbordo e um conjunto de equipamentos auxiliares.

No processo de colheita mecanizado a colhedora é quem tem o maior impacto nos custos, devido seu elevado valor de aquisição, seguido pelo consumo de combustível e custo com mão-de-obra. Sendo assim, o gerenciamento do sistema mecanizado antes e durante a execução da atividade, torna-se relevante para a redução dos custos.

O investimento em tecnologia e manejo agrícola nos canaviais, como a agricultura de precisão, variedades para ambientes específicos, encanteiramento dos equipamentos e evitando pisoteio em soqueiras, visam o aumento da produtividade também se torna um atrativo em relação ao custo, pois a produtividade por hectare impacta positivamente em relação ao custo de colheita, havendo assim uma correlação inversa entre produtividade e custo operacional por tonelada.

REFERÊNCIAS:

ALFONSI, R.R.; PEDRO, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. São Paulo: Fundação Cargil, 1987. v.1, p.42-87.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE standards**. St Joseph: ASAE, 1999. p.353-358: Agricultural Machinery Management ASAE EP496.2.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA, <http://www.anfavea.com.br/index.html>. Acesso em: 20 nov. 2011.

AZZI, G.M. **Incidência de matéria estranha nos processos de carregamento da cana-de-açúcar**. 1967. 112p. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1967

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R. Custos com reparo e manutenção no transporte de cana-de-açúcar. **Revista Agrimotor**, São Paulo, n. 4, p. 30-31, 2005.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; SALES, F. Gestão de frotas custos com reparos e manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar parte I. **Revista Agrimotor**, São Paulo, n. 30, p. 12-13, 2008a.

BELARDO, G.C. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (Saccharum spp.) sem queima**. 2010. 136p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BOHM, G.M. Queima da cana-de-açúcar e saúde humana. **STAB: álcool, açúcar e subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 4, p. 40-41, mar/abr. 1998.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo. **Resenha energética 2011: Ano base 2010. Resultados preliminares**. Rio de Janeiro, 2011. 28p.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Receita Federal. **Impostos e contribuições federais**. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/Alíquotas/default.htm>>. Acesso em: 30 mar. 2011.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatística da produção sucroalcooleira**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatistica>>. Acesso em 06 ago. 2012.

BROUSSARD, K. Appropriate technology and selection of cane harvesting machinery. **Sugar Cane**, n. 3, p. 1-3, may/june 1987.

CARVALHO FILHO, S.M. **Colheita mecanizada: desempenho operacional e econômico em cana sem queima prévia**. 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep;Unesp, 1991. 157p.

CENICANÃ. **Centro de investigación de la caña de azúcar de Colômbia**, Cali, v. 18, n. 4, p. 9-18, out/dez. 1996.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Instruções**. Piracicaba: CONSECAN, 1999. 92p.

CONTADOR, C.R. **Avaliação social de projetos**. São Paulo: Atlas, 1988. 316p.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Recomendação de adubação para a cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1988. 7p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mitigação das emissões de gases de efeito estufa. **Agroanalysis**, Brasília, v.29, n.4, p.21-33, 2009.

FRANCO, A.R. **Aspectos médicos e epidemiológicos da queimada de canaviais na região de Ribeirão Preto.** In: CENTRO DE ESTUDOS BRASILEIROS. Ribeirão Preto: USP, 1992. 19p.

FURLANI NETO, V.L. **Colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): avaliação em canaviais com e sem queima prévia.** 1995. 111p. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.C.; VILLANOVA, N.A.; APPROABATO FILHO, A. Colheita mecanizada de cana crua e queimada: desempenhos e qualidade da matéria-prima. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996. Maceió-AL. **Anais...** Maceió-AL., 1996. p. 533-541.

FURLANI NETO, V.L.; ROLIM, J.C.; RIPOLI, T.C.C.; MONTEIRO, H. NOGUEIRA, R.R. Influência de dessecante na colheita mecânica da cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v. 9, n. 51, p. 16-19, nov/dez. 1989.

GONÇALVES, D.B. **Regulamentação das queimadas e as mudanças nos canaviais paulistas.** São Carlos: RiMa, 2002. 127p.

HUNT, D.R. **Farm Power and machinery management.** 9th ed. Ames: Iowa University Press, 1977. 365p.

MAGRO, J.A. Sistema de cana crua: perspectiva de viabilidade. **STAB: álcool, açúcar e subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n.4, p.31-32. mar/abr. 1998.

MARQUES, P.V. (Coord.) **Custo de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil safra 2007/2008.** Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2009. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. 104p.

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

MIALHE, L.G.; RIPOLI, T.C.C. Evaluación de cosechadoras automotrices de caña de azúcar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MECANIZACIÓN DE LA CONSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR, 1976, Caracas. Caracas: Dist. Venezolana de Azúcares, SLR, 1976. p. 189-204.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 2004. 100p. Tese (Livre Docência em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

NERY, M.S. **Desempenho operacional e econômico de uma colhedora em cana crua**. 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

NORONHA, J.F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamentação e avaliação econômica**. Piracicaba. Fealq, 1981. 368p.

PINTO, L.A.R. Desenvolvimento na colheita da cana-de-açúcar. **Agricultura de Hoje**, São Paulo, v. 2, n. 20, p. 305-355, 1976.

PINTO, L.A.R. Colheita da cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 38-51, abr. 1977.

RIPOLI, T.C.C. Fogo na palha? **NOTESALQ**, Piracicaba, v. 1, n.5, p. 2-3, Nov. 1988.

RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; BRITO, J.O. Queima de canavial: o desperdício não mais admissível! **Álcool & Açúcar**, Piracicaba, v. 10, n. 54, p. 18-23, jul/ago. 1990.

RIPOLI, T.C.C. Máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. (Ed.). **Máquinas Agrícolas: ensaios & certificações**. Piracicaba: O autor, 1996. 722p.

RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G. Custos de colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, na safra 81/82. **Álcool & Açúcar**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 18-29, fev/mar. 1983.

RIPOLI, T.C.C.; VILLANOVA, N.A. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar: novos desafios. **STAB: álcool, açúcar e subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 1, p. 28-31, set/out. 1992.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba:Edição dos autores, 2009. 333p.

RIPOLI, T.C.C.; MOLINA JUNIOR, W.F.; STUPIELLO, J.P; NOGUEIRA, M.C.; SACCOMANO, J.B. Potencial energético de resíduos de cosecha de la caña verde. **STAB: álcool, açúcar e subprodutos**, Piracicaba, v. 10, n. 1, p. 22-26, 1991.

RODRIGUES, L. **O processo de terceirização e a presença de arranjos institucionais distintos na colheita da cana-de-açúcar**. 2006. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ROSS, S.A.; WESTERFIELD, R.W.; JAFFE, J.F. **Administração financeira: corporate finance**. São Paulo: Atlas, 2002. 776p.

ROZEFF, N. The effects operating velocity on productivity in Green and burned sugar cane. **Sugar Cane**, v. 1, p. 7-19, nov. 1989.

SALVI, J.V.; MATOS, M.A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 201-209, jan./abr. 2007.

SANTOS, N.B. **Identificação dos fatores críticos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (Saccharum, spp)**. 2011. 85p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SÃO PAULO. Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial**, São Paulo, 20 de set. 2002. Seção 1, p. 2/3.

SÃO PAULO. **Protocolo**. Protocolo de cooperação que celebram entre si, o governo do Estado de São Paulo, a secretaria de Estado do meio ambiente, a secretaria de

Estado da agricultura e abastecimento e a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo para a adoção de ações destinadas a consolidar o desenvolvimento sustentável da indústria da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, em 4 de junho de 2007. Disponível em:

http://www.unica.com.br/userFiles/Protocolo_Assinado_Agroambiental.pdf. Acesso em: 25 mar. 2011.

SCANDALIARIS, J.; ROMERO, E.; ZAMORA, F.P. Desempeno de lãs cosechadoras integrales de nueva generaci3n. **Avance Agroindustrial**, v. 17, n. 69, p. 14-18, jul. 1997.

SCHIEMBRI, M.; GARSON, C.A. Gathering of green cane by harvesters: first study. Australian, **Society of Sugar Cane Technologists**, n. 2, p. 145-151, 1996.

SCHMIDT JUNIOR, J.C.; **Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 2011. 110p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVA, M.R.S.; FROIS, N.D.T. As cinzas de cana promovem câncer? **STAB: álcool, açúcar e subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 4, p. 42, mar/abr. 1998.

SILVA, S.S.S. **Logística aplicada à colheita mecanizada de cereais**. 2004. 148p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SOARES, G. de C.; BALBO, L.; PINTO, A.R. Colheita mecânica de cana picada. **STAB: álcool, açúcar e subprodutos**, Piracicaba, v. 12, n. 3, p. 3-8, set/out. 1994.

SPAROVEK, G. Aptidão das terras de Piracicaba para o corte mecanizado de cana-de-açúcar. **STAB: álcool, açúcar e subprodutos**, Piracicaba, v.15, n. 5, p. 14-17, mai/jun. 1997.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. **Dados e cotações: estatísticas**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadoscotacao/estatistica/>. Acesso em: 20 mar. 2011.

VEIGA FILHO, A.A., SANTOS, Z.A.P. de S., VEIGA, J.E.R., OTANI, M.N., YOSHII, R.J. Análise da mecanização do corte da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, p. 43-58, 1994.

VEIGA FILHO, A.A. Experiências históricas internacionais de mecanização do corte da cana-de-açúcar. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n. 7, jul. 1998.

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

YADAV, R.N.S.; SHARMA, M.P.; KAMTHE, S.D.; TAJUDDIN, A.; YADAV, V.S.; TEJRA, R.K. Performance evaluation of sugarcane chopper harvester. **Sugar Technology**, New Delhi, v. 4, n. 3/4, p. 117-122, 2002.

ZILIO, L.B. **Análise comparativa da viabilidade econômico financeira para a instalação de destilaria de etanol de cana-de-açúcar no Norte de Goiás e no Vale do São Francisco/ BA: um estudo de caso. 2009**. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2009.

ANEXOS

ANEXO A – Formulário do modelo desenvolvido para a determinação do número de colhedoras e do custo operacional do corte mecanizado (R\$ t⁻¹)

Cálculo de Custo	
Classe Operacional	Colhedora de Cana
Modelo	JD 3520
Valor Inicial (R\$)	900.000,00
Potência (cv)	342
Juros (%)	6,75
Consumo de Combustível (L h ⁻¹)	55,75
Vida Útil (anos)	10
Valor Final (% de VI)	15
Fator de Reparo e Manutenção (% de VI)	100
Alojamento, Seguros e Taxas (% de VI)	1
Horas Trabalhadas Anuais	3.578,40

Formulário do modelo desenvolvido para a determinação do número de colhedoras e do custo operacional do corte mecanizado (R\$ t⁻¹)

Desempenho	
Largura (m)	1,50
Velocidade de Operação (km h ⁻¹)	4,50
Preço do Combustível (R\$ L ⁻¹)	1,90

Formulário do modelo desenvolvido para a determinação do número de colhedoras e do custo operacional do corte mecanizado (R\$ t⁻¹)

Análise de Eficiência (%)	
Classe Operacional	Colhedora de Cana
Modelo	JD 3520
Eficiência Gerencial	70
Eficiência Operacional	55

Formulário do modelo desenvolvido para a determinação do número de colhedoras e do custo operacional do corte mecanizado (R\$ t⁻¹)

Planejamento da Colheita	
Produtividade Média (t ha ⁻¹)	85,00
Área a ser colhida (ha)	3500
Produção a Colher (ha)	297.500,00

Formulário do modelo desenvolvido para a determinação do número de colhedoras e do custo operacional do corte mecanizado (R\$ t⁻¹)

Análise Operacional	
Ritmo Operacional (ha h ⁻¹)	0,9781
Número de Máquinas	3,00
Capacidade de Campo Operacional (ha h ⁻¹)	0,3713
Capacidade de Produção (t h ⁻¹)	31,56
Custo Variável (R\$ h ⁻¹)	373,17
Custo Fixo (R\$ h ⁻¹)	117,55
Custo Horário Total (R\$ h ⁻¹)	490,72
Custo Operacional Total (R\$ t ⁻¹)	15,55

ANEXO B – Premissas e fonte de dados para determinação do custo operacional total do corte e carregamento de cana-de-açúcar para o cenário base

Aquisição de Maquinário			
Equipamento	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Colhedora JD 3520	3	900.000,00	2.700.000,00
Trator JD 7715	6	185.000,00	1.110.000,00
Transbordo	12	75.000,00	900.000,00
Caminhão Prancha	1	310.000,00	310.000,00
Caminhão Bombeiro	1	450.000,00	450.000,00
Caminhão Comboio	1	250.000,00	250.000,00
TOTAL		2.170.000,00	5.720.000,00

Premissas e fonte de dados para determinação do custo operacional total do corte e carregamento de cana-de-açúcar para o cenário base

Mão-de-obra - encargos trabalhistas de 75%					
Funções	Quantidade	Salário (R\$)	Salário + Encargos (R\$)	Custo Anual (R\$)	Custo Horário (R\$ h ⁻¹)
Supervisor	1	2.500,00	4.375,00	52.500,00	5,57
Fiscal	3	1.800,00	9.450,00	113.400,00	12,03
Operador de Colhedora	12	1.600,00	33.600,00	403.200,00	42,77
Operador de Trator	21	1.000,00	36.750,00	441.000,00	46,78
Motorista Prancha	4	1.100,00	7.700,00	92.400,00	9,80
Motorista Bombeiro	4	1.100,00	7.700,00	92.400,00	9,80
Motorista Comboio	4	1.100,00	7.700,00	92.400,00	9,80
Mecânico	4	1.200,00	8.400,00	100.800,00	10,69
TOTAL				1.388.100,00	147,24