JOURNAL OF EDUCATION, SCIENCE AND HEALTH – JESH
Revista de Educação, Ciência e Saúde
DOI: https://www.doi.org/ 10.52832/jesh.v6i3.728
Home page: https://bio10publicacao.com.br/jesh
e-ISSN: 2763-6119

CUSTOS OPERACIONAIS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS: FUNDAMENTOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES NA TOMADA DE DECISÃO

OPERATIONAL COSTS OF AGRICULTURAL MACHINERY: FUNDAMENTALS, METHODS AND APPLICATIONS IN DECISION MAKING

COSTOS OPERACIONALES DE MAQUINARIA AGRÍCOLA: FUNDAMENTOS, MÉTODOS Y APLICACIONES EN LA TOMA DE DECISIONES

Mayara Rodrigues Uchôa[1*]; Jâmily Karen Martins Soares[2]; Leonardo de Almeida Monteiro[3]; Eduardo Gabriel Silva Nogueira[4*]; Lucas Costa Ribeiro[5*]

1Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil;
2Graduada em Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestranda no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Fortaleza, Ceará, Brasil;
3Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Professor Adjunto na Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil;
4Graduado em Agronomia, Universidade Federal do Ceará (UFC). Bolsista voluntário na Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil.
5Graduando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará (UFC). Bolsista voluntário na Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil.
*Autor correspondente: mayarauchoa96@gmail.com

Recebido: 03/07/2026 | Aprovado: 15/09/2026 | Publicado: 22/09/2026

Resumo: A mecanização agrícola representa parcela significativa dos custos de produção agropecuária, respondendo por aproximadamente 45% nas atividades agrícolas e até 70% nas atividades florestais. Diante disso, o adequado conhecimento dos custos operacionais de máquinas agrícolas torna-se indispensável para a viabilidade econômica de propriedades rurais e empresas prestadoras de serviços mecanizados. O presente artigo teve como objetivo apresentar e discutir os fundamentos teóricos e metodológicos utilizados no cálculo dos custos operacionais de tratores e implementos agrícolas, com ênfase nos componentes fixos e variáveis. A pesquisa é de natureza bibliográfica e descritiva, fundamentada nas metodologias propostas por Balastreire (1990) e pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Os custos fixos analisados foram: depreciação, juros sobre o capital, abrigo e seguros. Os custos variáveis compreenderam: combustível, lubrificantes, graxa, manutenção preventiva e corretiva, e mão de obra do operador. O custo horário final resulta da soma desses componentes. Os resultados demonstram que a maximização das horas anuais de trabalho é a principal estratégia para diluição dos custos fixos e redução do custo horário. Conclui-se que o domínio dessas metodologias subsidia decisões estratégicas quanto à aquisição própria ou terceirização de maquinário, sendo determinante para a sustentabilidade financeira do negócio agrícola.

Palavras-chave: Engenharia Rural. Manutenção de Frotas. Viabilidade Econômica. Gestão de Ativos. Planejamento Financeiro.

Abstract: Agricultural mechanization represents a significant share of agricultural production costs, accounting for approximately 45% in crop activities and up to 70% in forestry operations. Given this context, an adequate understanding of the operational costs of agricultural machinery is essential to ensure the economic viability of rural properties and companies providing mechanized services. This article aimed to present and discuss the theoretical and methodological foundations used to calculate the operational costs of tractors and agricultural implements, with emphasis on fixed and variable cost components. The research is bibliographic and descriptive in nature, based on the methodologies proposed by Balastreire (1990) and the American Society of Agricultural Engineers (ASAE). The fixed costs analyzed were: depreciation, capital interest, shelter, and insurance. Variable costs included: fuel, lubricants, grease, preventive and corrective maintenance, and operator labor. The final hourly cost results from the sum of these components. Results show that maximizing annual working hours is the main strategy for diluting fixed costs and reducing the hourly cost. It is concluded that mastering these methodologies supports strategic decisions

regarding own acquisition or outsourcing of machinery, being decisive for the financial sustainability of the agricultural business.

Keywords: Rural Engineering. Fleet Maintenance. Economic Feasibility. Asset Management. Financial Planning.

Resumen: La mecanización agrícola representa una parte significativa de los costos de producción agropecuaria, representando aproximadamente el 45% en las actividades agrícolas y hasta el 70% en las actividades forestales. En este contexto, el adecuado conocimiento de los costos operacionales de la maquinaria agrícola es indispensable para la viabilidad económica de las propiedades rurales y de las empresas prestadoras de servicios mecanizados. El presente artículo tuvo como objetivo presentar y discutir los fundamentos teóricos y metodológicos utilizados en el cálculo de los costos operacionales de tractores e implementos agrícolas, con énfasis en los componentes fijos y variables. La investigación es de naturaleza bibliográfica y descriptiva, fundamentada en las metodologías propuestas por Balastreire (1990) y la American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Los costos fijos analizados fueron: depreciación, intereses sobre el capital, alojamiento y seguros. Los costos variables incluyeron: combustible, lubricantes, grasa, mantenimiento preventivo y correctivo, y mano de obra del operador. El costo horario final resulta de la suma de estos componentes. Los resultados demuestran que la maximización de las horas anuales de trabajo es la principal estrategia para diluir los costos fijos. Se concluye que el dominio de estas metodologías apoya decisiones estratégicas sobre la adquisición propia o tercerización de maquinaria, siendo determinante para la sostenibilidad financiera del negocio agrícola.

Palabras-clave: Ingeniería Rural. Mantenimiento de Flotas. Viabilidad Económica. Gestión de Activos. Planificación Financiera.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por eficiência e competitividade no setor agropecuário brasileiro tem crescido muito nas últimas décadas. Isso tem levado a muitos investimentos em mecanização agrícola. O processo de intensificação tecnológica do campo exige não apenas a aquisição de máquinas com maior potência e recursos embarcados, mas também um profundo conhecimento sobre os aspectos econômicos envolvidos na operação desses equipamentos (Balastreire, 1990; Pereira Filho *et al.*, 2020).

Os custos operacionais das máquinas agrícolas são uma parte muito importante dos custos de produção agropecuária. Estudos mostram que as operações mecanizadas representam cerca de 45% dos custos de produção nas atividades agrícolas, e podem chegar a 70% nas atividades florestais (Mialhe, 1996; Oliveira et al., 2023). Nesse contexto, é fundamental dimensionar e controlar corretamente os custos envolvidos na operação de tratores e implementos para garantir a viabilidade econômica das propriedades rurais e das empresas que prestam serviços mecanizados.

A literatura especializada divide os custos das máquinas agrícolas em dois grupos principais: os custos fixos e os custos variáveis. Os custos fixos são aqueles que não dependem de quanto a máquina é usada, então o dono da máquina tem que pagar por eles mesmo quando ela não está sendo usada. Já os custos variáveis dependem de como e quanto a máquina é usada (Fonseca, 2002; Meier et al., 2023). Essa diferença é muito importante para entender como os custos funcionam e para tomar decisões sobre comprar máquinas, decidir quantas máquinas são necessárias e quanto cobrar para alugar máquinas.

Outro aspecto de relevância crescente é a tendência de terceirização das operações mecanizadas por parte de produtores rurais que buscam evitar a imobilização de capital na aquisição de equipamentos de alto valor. Nessa modalidade, o produtor contrata empresas especializadas para a execução das operações de campo, transferindo os riscos e os encargos fixos associados à propriedade das máquinas. Para o prestador de serviços, o

correto cálculo do custo horário é condição indispensável à sustentabilidade do negócio (Reis, 2017; Castro *et al.*, 2022).

Estudos recentes reforçam a necessidade de metodologias atualizadas para o dimensionamento e o gerenciamento dos custos operacionais de máquinas agrícolas. Oliveira *et al.* (2023), ao analisarem sistemas mecanizados em propriedades produtoras de manga no Submédio do Vale do São Francisco, demonstraram que os custos com combustível e manutenção respondem pela maior parcela dos custos variáveis, sendo determinantes na composição do custo horário final. Meier *et al.* (2023) apontam que o correto dimensionamento da frota, aliado à maximização das horas anuais de trabalho, constitui estratégia essencial para reduzir o custo por hectare em propriedades produtoras de grãos. Complementarmente, Pereira Filho *et al.* (2020) evidenciam que a caracterização técnica dos tratores comercializados no Brasil influencia diretamente as escolhas de investimento e a projeção da vida útil dos equipamentos, aspectos essenciais para o planejamento financeiro do produtor rural.

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo apresentar e discutir os fundamentos teóricos e metodológicos utilizados no cálculo dos custos operacionais de máquinas agrícolas, com ênfase nos componentes fixos e variáveis, nas equações e parâmetros adotados pela literatura e nas implicações práticas dessas informações para a gestão da mecanização agrícola.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa se fundamenta em uma análise bibliográfica e descritiva, explorando a literatura especializada sobre a mecanização no campo e os custos envolvidos na operação de máquinas agrícolas. Foi adotada uma perspectiva quantitativa, apresentando e debatendo as equações e os métodos de cálculo mais relevantes para a projeção do custo por hora de equipamentos mecanizados.

2.2 Metodologia de cálculo dos custos

Para a estruturação do modelo de cálculo dos custos operacionais, adotou-se como referência principal a metodologia proposta por Balastreire (1990), amplamente utilizada no contexto da engenharia agrícola brasileira. Complementarmente, foram incorporados os parâmetros definidos pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE) para o cálculo do consumo de combustível e lubrificantes.

Os custos fixos considerados foram: depreciação (D), calculada pelo método linear; juros sobre o capital investido (J); custo de abrigo (A); e custo de seguros (S). Os custos variáveis incluíram: consumo de combustível (C), consumo de lubrificantes (L), consumo de graxa, manutenção preventiva e corretiva (M) e mão de obra do operador (MO). O custo horário final (CH) resulta da soma dos custos fixos e variáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Importância econômica da mecanização agrícola

A mecanização agrícola é reconhecida como um dos principais vetores de produtividade no campo. À medida que o número, o tamanho e a complexidade das máquinas aumentam, torna-se cada vez mais vital o impacto do gerenciamento desse sistema sobre a rentabilidade do negócio agrícola. A otimização do desempenho dos sistemas mecanizados passa necessariamente por questões que requerem um adequado entendimento das relações existentes entre os aspectos técnicos e econômicos da mecanização (Balastreire, 1990).

Na mensuração dos custos de um conjunto mecanizado (trator aliado a um implemento) contabiliza-se o tempo de utilização em horas, razão pela qual a referência é denominada custo horário. Esse custo é calculado individualmente para o trator e para cada implemento acoplado. No sistema capitalista, o objetivo final de qualquer organização, independente do seu tamanho, é o lucro, que resulta primordialmente da diferença entre receitas totais e custos totais, demonstrando a influência decisiva dos custos sobre a lucratividade do empreendimento (Reis, 2017).

3.2 Custos Fixos

Os custos fixos independem da intensidade de utilização da máquina, ou seja, do número de horas trabalhadas. Devem ser debitados independentemente de a máquina ser usada ou não. A partir do momento em que um trator ou qualquer outra máquina agrícola é adquirida, ela passa a onerar seu proprietário, mesmo que permaneça inativa no galpão. A forma de diluir esse ônus é utilizar a máquina o maior número de horas por ano, reduzindo ao mínimo o tempo ocioso (Balastreire, 1990).

A depreciação (D) representa o desgaste natural da máquina à medida que envelhece, refletindo a desvalorização do equipamento em função do tempo, independentemente de sua utilização. Se uma máquina for pouco utilizada durante o ano, sua depreciação decorrerá principalmente da obsolescência tecnológica; se intensamente utilizada, ocorrerá pelo desgaste físico. No segundo caso, a máquina ao menos proporcionou retorno por meio dos serviços prestados. O método linear de cálculo da depreciação é o mais difundido na literatura, sendo expresso pela equação:

$$D = \frac{(V_i - V_S)}{V_u}$$

Em que:

D = depreciação (R$/ano);

Vi = valor inicial de aquisição (R$);

Vs = valor residual ou de sucata (R$, geralmente de 10 a 20% de Vi);

Vu = vida útil (anos).

Os juros sobre o capital (J) correspondem ao custo de oportunidade do capital imobilizado na aquisição da máquina, calculados sobre o capital médio investido. Normalmente são juros simples, com taxas entre 6 e 8% ao ano. O custo de abrigo (A), variando de 0,5 a 2% do valor de aquisição ao ano, e os seguros (S) (de 0,75 a 3%

ao ano) completam os custos fixos, sendo comum adotar A + S ≈ 4% sobre o valor inicial na ausência de dados precisos.

3.3 Custos Variáveis

Os custos variáveis dependem da intensidade de utilização da máquina e podem ser influenciados pelo local de trabalho, pela habilidade do operador e pelas condições de manutenção e regulagem dos equipamentos. Seus principais componentes são descritos a seguir.

O consumo de combustível (C) é o componente mais expressivo dos custos variáveis. A ASAE estabelece equações diferenciadas para motores diesel conforme a faixa de potência. Para tratores com potência na TDP abaixo de 200 hp, aplica-se:

$$C = 0{,}205 \times PTO_{máx}(kW)$$

ou, equivalentemente:

$$C = 0{,}151 \times PTO_{máx}(cv)$$

Em que:

C = consumo de combustível (L h^{-1});

PTOmáx = potência máxima na tomada de potência.

Para potências acima de 200 hp, os coeficientes são ligeiramente superiores. Como simplificação prática, adota-se consumo médio de 0,1 L h^{-1} por cv de potência nominal (método simplificado). O custo horário com combustível é então obtido multiplicando-se o consumo médio pelo preço unitário do litro de diesel.

O consumo de lubrificantes (L) é estimado pela equação:

$$Consumo(Lh^{-1}) = 0{,}00043 \times Potência\ nominal(cv) + 0{,}02169$$

O consumo de graxa é padronizado em 0,05 kg h^{-1}. Ambos os custos são obtidos multiplicando-se o consumo unitário pelo respectivo preço por litro ou quilograma.

Os custos de manutenção (M) compreendem a manutenção preventiva — realizada conforme plano previamente elaborado, incluindo trocas de filtros, correias e lubrificantes — e a manutenção corretiva, mais difícil de estimar, pois depende de fatores variáveis como habilidade do operador e condições do terreno. Custos com reparos e manutenção podem representar aproximadamente 20% do custo total. Para tratores, adota-se 100% do valor inicial ao longo de toda a vida útil, distribuído anualmente (ex.: para 10 anos de vida útil, taxa de 10% a.a. sobre o investimento inicial). Para implementos acoplados, utiliza-se taxa de 4 a 6% ao ano sobre o valor inicial.

A mão de obra (MO) considera o salário do operador somado aos encargos sociais (estimados entre 66 e 80% do salário bruto). Para determinação do custo horário, consideram-se os dias úteis do mês, sendo o padrão para trator agrícola de 176 horas mensais (22 dias × 8 horas/dia).

3.4 Custo Horário Total e Vida Útil das Máquinas

A síntese do modelo de cálculo dos custos operacionais pode ser expressa pelas seguintes equações:

$$CF = D + J + A/S$$

$$CV = C + L + M + MO$$

$$CH = CF + CV$$

No caso de locação de máquinas, recomenda-se adicionar uma margem de lucro de 30 a 50% sobre o custo horário final, de modo a garantir a rentabilidade do negócio.

Quadro 1 – Síntese dos componentes do custo horário de máquinas agrícolas.

Componente	Elementos
Custos Fixos (CF)	Depreciação (D), Juros (J), Abrigo e Seguros (A/S)
Custos Variáveis (CV)	Combustível (C), Lubrificantes (L), Graxa, Manutenção (M), Mão de obra (MO)
Custo Horário Final (CH)	CH = CF + CV
Margem para locação	30 a 50% sobre o custo horário final

Fonte: Adaptado de Balastreire (1990).

A vida útil das máquinas agrícolas é determinante para o cálculo da depreciação e, consequentemente, para o custo fixo total. Ela varia em função do tipo de equipamento e da qualidade da manutenção realizada. Na ausência de estatísticas específicas para cada situação, podem-se utilizar valores de referência tabelados conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Vida útil e carga anual de trabalho de máquinas agrícolas.

Máquina	Vida útil (anos)	Trabalho anual (horas)
Trator de pneus	10-15	800-1000
Trator de esteira	10-15	1000
Arado	5-10	150-200
Grade	5-10	150-200
Semeadora	5-10	100-200
Cultivador	10-12	150-200
Colhedora	8-10	200-250
Subsolador	5	200-400
Skidder	5-8	5000
Feller-Buncher	5-8	5000

Fonte: Adaptado de Balastreire (1990).

Os dados do Quadro 2 indicam que tratores de pneus e de esteira apresentam vida útil mais longa (10 a 15 anos), com maior demanda anual de horas de trabalho. Implementos como arados, grades e semeadoras têm

vida útil menor (5 a 10 anos) e menor carga horária anual. Máquinas florestais de grande porte, como skidders e feller-bunchers têm vida útil reduzida, mas carga horária anual muito elevada (5.000 horas/ano), refletindo o uso intensivo característico do setor.

3.5 Terceirização de máquinas e decisão estratégica

A tendência de terceirização das operações mecanizadas surge como alternativa estratégica para produtores rurais que buscam evitar o alto custo inicial de aquisição e a imobilização de capital em ativos de uso sazonal. Os custos fixos, que incidem independentemente da utilização, oneram especialmente as máquinas subutilizadas, tornando a terceirização economicamente vantajosa em propriedades com baixa demanda anual de horas.

Para o prestador de serviços mecanizados, o cálculo preciso do custo horário é condição indispensável à sustentabilidade do negócio. A correta estimativa do CH, aliada à eficiência operacional da máquina, medida pela capacidade efetiva de campo, é o que determinará se a atividade gera lucro ou prejuízo. O não conhecimento desses custos pode levar à precificação incorreta dos serviços, comprometendo a viabilidade financeira do empreendimento a médio e longo prazo (Fonseca, 2002).

3.6 Estudo de caso: custo operacional de um conjunto trator-escarificador

A aplicação prática dos fundamentos apresentados nas seções anteriores é essencial para a compreensão do processo de cálculo do custo operacional de conjuntos mecanizados. A seguir, apresenta-se um estudo de caso com dados reais de mercado, contemplando um trator de potência média e um implemento de preparo de solo, a fim de ilustrar passo a passo a metodologia de Balastreire (1990). O exemplo possibilita ainda a análise comparativa entre os componentes de custo e a verificação do impacto da taxa de utilização anual sobre o custo horário final.

Questão: Um prestador de serviços mecanizados do estado do Ceará deseja calcular o custo operacional horário de seu conjunto composto por um trator Valtra BM125i (125 cv) e um Escarificador MATIC 7, utilizados em operações de descompactação de solo em lavouras de grãos. O prestador deseja também determinar o preço de aluguel do conjunto a ser cobrado dos produtores rurais, considerando uma margem de lucro de 40%. Os dados técnicos e financeiros levantados são apresentados no Quadro 3.

Com base nas metodologias de Balastreire (1990) e ASAE, calcule: (a) os custos fixos do trator; (b) os custos fixos do escarificador e o total de custos fixos do conjunto; (c) os custos variáveis do trator; (d) os custos variáveis do escarificador e o total de custos variáveis do conjunto; (e) o custo horário total (CH); e (f) o preço de aluguel com margem de lucro de 40%.

Quadro 3 – Dados técnicos e financeiros do conjunto trator-escarificador para cálculo do custo operacional.

Parâmetro	Trator Valtra BM125i	Escarificador MATIC 7
Potência nominal (cv)	125	—
Valor de aquisição – Va (R$)	**175.000,00**	**45.745,00**

Parâmetro	Trator Valtra BM125i	Escarificador MATIC 7
Valor residual – Vs (R$)	**35.000,00 (20% de Va)**	**4.574,50 (10% de Va)**
Vida útil (anos)	10	10
Carga anual de trabalho (h/ano)	**1.000**	150
Taxa de juros sobre capital (% a.a.)	6	6
Taxa de abrigo e seguros A+S (% de Va/ano)	4	2
Taxa de manutenção (% de Va/ano)	7,5	6
Preço do diesel (R$/L)	3,60	—
Preço do lubrificante (R$/L)	29,00	—
Preço da graxa (R$/kg)	19,00	19,00
Salário bruto do operador (R$/mês)	**2.200,00**	—
Encargos sociais (% do salário bruto)	88	—
Jornada mensal padrão (h/mês)	176	—

Fonte: Dados reais de mercado levantados para fins didáticos.

Resolução

a) Custos Fixos do Trator (CF_trator)

A depreciação é calculada pelo método linear, dividindo a perda de valor pela quantidade total de horas de vida útil:

D = (Va − Vs) / (Vu × h_ano) = (175.000,00 − 35.000,00) / (10 × 1.000) = 140.000,00 / 10.000 = R$ 14,00/h

Os juros são calculados sobre o capital médio investido (média aritmética entre o valor inicial e o valor residual), à taxa de 6% ao ano:

J = i × (Va + Vs) / 2 / h_ano = 0,06 × (175.000,00 + 35.000,00) / 2 / 1.000 = 0,06 × 105.000,00 / 1.000 = R$ 6,30/h

O custo de abrigo e seguros (A+S), adotado como 4% do valor de aquisição ao ano, equivale a:

A+S = 0,04 × 175.000,00 / 1.000 = 7.000,00 / 1.000 = R$ 7,00/h

CF_trator = D + J + A+S = 14,00 + 6,30 + 7,00 = R$ 27,30/h

b) Custos Fixos do Escarificador (CF_escarificador)

Para o implemento, o procedimento é idêntico, com os parâmetros específicos do escarificador. A carga anual de trabalho de 150 h/ano, inferior à do trator, resulta em maior custo unitário fixo por hora:

D = (45.745,00 − 4.574,50) / (10 × 150) = 41.170,50 / 1.500 = R$ 27,45/h

J = 0,06 × (45.745,00 + 4.574,50) / 2 / 150 = 0,06 × 25.159,75 / 150 = 1.509,59 / 150 = R$ 10,06/h

A+S = 0,02 × 45.745,00 / 150 = 914,90 / 150 = R$ 6,10/h

CF_escarificador = 27,45 + 10,06 + 6,10 = R$ 43,61/h

Custos Fixos Totais do Conjunto: CF_conjunto = CF_trator + CF_escarificador = 27,30 + 43,61 = R$ 70,91/h

c) Custos Variáveis do Trator (CV_trator)

O consumo de combustível é estimado pelo método simplificado da ASAE, adotando 0,1 L/h por cv de potência nominal:

Consumo de diesel = 0,1 × 125 cv = 12,5 L/h

C = 12,5 L/h × R$ 3,60/L = R$ 45,00/h

O consumo de lubrificante é calculado pela equação da ASAE para motores diesel:

Consumo de lubrificante = 0,00043 × 125 + 0,02169 = 0,05375 + 0,02169 = 0,07544 L/h

L = 0,07544 L/h × R$ 29,00/L = R$ 2,19/h

O consumo de graxa é padronizado em 0,05 kg/h:

G = 0,05 kg/h × R$ 19,00/kg = R$ 0,95/h

O custo de manutenção considera 7,5% do valor de aquisição ao ano (equivalente a 75% de Va distribuído ao longo de 10 anos de vida útil), dividido pela carga anual de trabalho:

M = 0,075 × R$ 175.000,00 / 1.000 = R$ 13.125,00 / 1.000 = R$ 13,13/h

A mão de obra inclui o salário do operador acrescido dos encargos sociais (88% do salário bruto), dividido pela jornada mensal padrão de 176 horas:

MO = (R$ 2.200,00 + 0,88 × R$ 2.200,00) / 176 h = (R$ 2.200,00 + R$ 1.936,00) / 176 = R$ 4.136,00 / 176 = R$ 23,50/h

CV_trator = C + L + G + M + MO = 45,00 + 2,19 + 0,95 + 13,13 + 23,50 = R$ 84,77/h

d) Custos Variáveis do Escarificador (CV_escarificador)

Para o escarificador, os custos variáveis contemplam apenas o consumo de graxa e a manutenção, uma vez que combustível, lubrificante e mão de obra são atribuídos ao trator:

G = 0,05 kg/h × R$ 19,00/kg = R$ 0,95/h

M = 0,06 × R$ 45.745,00 / 150 = R$ 2.744,70 / 150 = R$ 18,30/h

CV_escarificador = G + M = 0,95 + 18,30 = R$ 19,25/h

e) Custo Horário Total do Conjunto (CH)

O custo horário final resulta da soma de todos os custos fixos e variáveis do conjunto:

CV_conjunto = CV_trator + CV_escarificador = 84,77 + 19,25 = R$ 104,02/h

CH = CF_conjunto + CV_conjunto = 70,91 + 104,02 = R$ 174,93/h

f) Preço de Aluguel com Margem de Lucro de 40%

Para a definição do preço de aluguel do conjunto, aplica-se a margem de lucro de 40% sobre o custo horário total:

Preço de aluguel = CH × (1 + 0,40) = R$ 174,93 × 1,40 = R$ 244,90/h

Portanto, para garantir a sustentabilidade financeira do negócio e remunerar adequadamente o capital investido, o prestador de serviços deverá cobrar, no mínimo, R$ 244,90 por hora de operação do conjunto trator-escarificador.

Quadro 4 – Síntese dos custos operacionais horários do conjunto trator-escarificador.

Componente	Trator BM125i (R$/h)	Escarificador MATIC 7 (R$/h)	Total Conjunto (R$/h)
Depreciação (D)	14,00	27,45	41,45
Juros (J)	6,30	10,06	16,36
Abrigo e Seguros (A+S)	7,00	6,10	13,10
Custos Fixos (CF)	27,30	43,61	70,91
Combustível (C)	45,00	—	45,00
Lubrificante (L)	2,19	—	2,19
Graxa (G)	0,95	0,95	1,90
Manutenção (M)	13,13	18,30	31,43
Mão de obra (MO)	23,50	—	23,50
Custos Variáveis (CV)	84,77	19,25	104,02
Custo Horário Total (CH)	—	—	174,93
Preço de Aluguel (+40% de margem)	—	—	244,90

Fonte: Elaborado pelos autores.

Análise e Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos evidenciam aspectos relevantes para a gestão estratégica da mecanização agrícola. O custo horário total do conjunto foi de R$ 174,93/h, sendo R$ 70,91/h de custos fixos (40,5%) e R$ 104,02/h de custos variáveis (59,5%). Dentro dos custos variáveis do trator, o combustível se destaca como o componente de maior peso, representando R$ 45,00/h, o equivalente a 43,3% do custo variável total do conjunto. Esse resultado reforça a importância do monitoramento do consumo de diesel e da eficiência operacional do trator como estratégia prioritária de redução de custos (Balastreire, 1990).

Chama atenção o elevado custo fixo unitário do escarificador (R$ 43,61/h), que supera o custo fixo do trator (R$ 27,30/h), apesar de seu menor valor de aquisição. Esse aparente paradoxo é explicado pela baixa utilização anual do implemento (150 h/ano), que impede a adequada diluição dos custos fixos ao longo do tempo. Para ilustrar esse efeito, se o escarificador fosse utilizado 300 h/ano em vez de 150 h/ano, seu custo fixo unitário cairia para aproximadamente R$ 21,80/h (redução de 50%), e o custo horário total do conjunto passaria de R$ 174,93/h para cerca de R$ 153,12/h, representando uma economia de 12,5% por hora trabalhada.

Sob a perspectiva da precificação de serviços, o preço de aluguel calculado de R$ 244,90/h garante ao prestador uma margem de lucro de R$ 70,00/h. Em uma operação de 100 horas, suficiente para descompactar entre 40 e 60 hectares dependendo das condições de campo, essa margem representa R$ 7.000,00 de lucro líquido. Por outro lado, caso o prestador ignore os custos fixos ao precificar seu serviço, cobrando apenas os custos variáveis estimados (R$ 104,02/h), operaria com prejuízo de R$ 70,91/h, comprometendo a sustentabilidade financeira do empreendimento a médio prazo (Reis, 2017).

Outro aspecto de relevância é a composição dos custos do escarificador. Seus custos variáveis são compostos quase integralmente pela manutenção (R$ 18,30/h ou 95% dos CV), refletindo o elevado desgaste físico desse tipo de implemento em razão do contato direto e intenso com o solo. Isso evidencia a importância de um rigoroso plano de manutenção preventiva para implementos de preparo de solo, de forma a evitar falhas e a reduzir os custos com manutenção corretiva, que tendem a ser mais elevados e imprevisíveis.

Por fim, o estudo de caso demonstra que o correto conhecimento e aplicação da metodologia de cálculo do custo operacional é condição essencial para a viabilidade econômica tanto do produtor rural quanto do prestador de serviços mecanizados. A tomada de decisão sobre adquirir, terceirizar ou renovar equipamentos deve ser sempre subsidiada por uma análise criteriosa dos custos fixos e variáveis, considerando as particularidades de cada propriedade e sistema produtivo.

Os achados deste estudo estão em consonância com os resultados obtidos por Oliveira *et al.* (2023) em análise dos custos operacionais em propriedades produtoras de manga no Submédio do Vale do São Francisco, na qual o combustível também se apresentou como o principal componente dos custos variáveis, corroborando a relevância do monitoramento do consumo de diesel na gestão da mecanização agrícola. De modo semelhante, Meier *et al.* (2023), ao avaliarem o dimensionamento de máquinas em propriedades produtoras de grãos, concluíram que a intensidade de utilização e o correto dimensionamento da frota são fatores decisivos para a diluição dos custos fixos e para a viabilidade econômica das operações mecanizadas.

O comportamento observado no custo fixo unitário do escarificador, superior ao do trator apesar do menor valor de aquisição, é consistente com o descrito por Kay, Edwards & Duffy (2020), que apontam o efeito da subutilização de implementos: equipamentos com carga horária anual reduzida oneram desproporcionalmente o custo por hora, uma vez que os componentes fixos são rateados por um menor número de horas trabalhadas. Esse fenômeno reforça a importância de dimensionar adequadamente a frota conforme a demanda anual da propriedade, evitando ativos ociosos que comprometem a rentabilidade do sistema produtivo (Meier *et al.*, 2023).

Sob a perspectiva da precificação e da decisão estratégica entre aquisição e terceirização, os resultados aqui apresentados reforçam a orientação de Pereira Filho *et al.* (2020), que destacam a importância da caracterização técnica dos tratores comercializados no Brasil, indicando que a escolha do equipamento deve considerar potência, vida útil projetada e compatibilidade com os implementos utilizados. Adicionalmente, Castro, Gilio & Machado (2022), ao analisarem os impactos da mecanização na produtividade agrícola paulista, evidenciaram que a intensidade e a qualidade da gestão do parque mecanizado influenciam diretamente o desempenho econômico das operações, corroborando a necessidade de metodologias precisas para a estimativa dos custos horários e para a sustentabilidade financeira do empreendimento agrícola.

Análise de Sensibilidade: Efeito das Horas Anuais de Trabalho no Custo Horário

Uma das principais variáveis que o gestor da mecanização pode controlar é a quantidade de horas anuais de trabalho das máquinas. Como os custos fixos são constantes independentemente da utilização, aumentar o número de horas trabalhadas por ano é a estratégia mais eficaz para reduzir o custo horário total. Para

demonstrar esse efeito no presente estudo de caso, calculou-se o custo horário do conjunto trator-escarificador para três cenários distintos de utilização anual, mantendo-se todos os demais parâmetros constantes.

Quadro 5 – Análise de sensibilidade: impacto das horas anuais de uso sobre o custo horário do conjunto.

Cenário	Horas/ano – Escarificador	CF_conj. (R$/h)	CV_conj. (R$/h)	CH Total (R$/h)	Preço Aluguel (R$/h)
Baixa utilização	100	97,08	104,02	201,10	281,54
Cenário base	150	70,91	104,02	174,93	244,90
Utilização moderada	250	51,64	104,02	155,66	217,92
Alta utilização	400	38,95	104,02	142,97	200,16

Fonte: Elaborado pelos autores. Nota: CF_conj. e CH variam em função das horas do escarificador; CV_conj. é constante pois depende apenas do consumo horário, não da utilização anual.

Os resultados do Quadro 5 evidenciam que o custo fixo horário do conjunto decresce de forma expressiva com o aumento das horas anuais de trabalho. No cenário de baixa utilização (100 h/ano), o custo horário total atinge R$ 201,10/h, um acréscimo de 15% em relação ao caso base, tornando o preço de aluguel superior a R$ 281,00/h, o que pode inviabilizar a contratação do serviço em mercados mais competitivos. Por outro lado, com 400 horas anuais de trabalho do escarificador, o custo horário cai para R$ 142,97/h, e o preço de aluguel pode ser reduzido para cerca de R$ 200,16/h, ampliando a competitividade do prestador de serviços.

Essa análise reforça a relevância do planejamento operacional na gestão da mecanização agrícola: equipamentos com baixo aproveitamento anual oneram desproporcionalmente o custo fixo, enquanto a maximização das horas de trabalho é a principal alavanca para a redução do custo horário e o aumento da competitividade dos serviços prestados. Tais análises de sensibilidade, quando incorporadas ao processo de tomada de decisão gerencial, permitem ao produtor rural e ao prestador de serviços identificar o ponto de equilíbrio operacional e estabelecer estratégias mais eficientes de alocação e uso do maquinário.

4 CONCLUSÃO

O conhecimento aprofundado dos custos operacionais de máquinas agrícolas é fundamental para a gestão eficiente da mecanização, tanto em propriedades rurais quanto em empresas prestadoras de serviços. Os custos fixos (depreciação, juros, abrigo e seguros) e os custos variáveis (combustível, lubrificantes, graxa, manutenção e mão de obra) devem ser calculados com rigor, utilizando metodologias consolidadas como as da ASAE e de Balastreire (1990).

A diluição dos custos fixos por meio da maximização das horas anuais de trabalho é uma das principais estratégias para a redução do custo horário. Complementarmente, a adequada manutenção dos equipamentos prolonga a vida útil das máquinas e reduz os custos com manutenção corretiva, impactando positivamente o desempenho econômico do conjunto mecanizado.

A decisão entre aquisição própria e terceirização de máquinas deve ser baseada no cálculo criterioso do custo horário, levando em conta a demanda anual de horas de trabalho, o valor de aquisição dos equipamentos, a disponibilidade de capital e as condições de mercado para locação de serviços mecanizados. O desenvolvimento de metodologias acessíveis e de ferramentas de suporte à decisão é uma contribuição relevante da engenharia agrícola para o fortalecimento da agropecuária brasileira.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Jâmily K. M. Soares: concepção do estudo, levantamento bibliográfico, organização dos dados e redação do manuscrito.

Leonardo Monteiro: orientação metodológica, revisão técnica e contribuição na discussão dos resultados.

Mayara R. Uchôa: coorientação da pesquisa, revisão bibliográfica, revisão textual e adequação científica do artigo.

Eduardo G. S. Nogueira: auxílio na estruturação do trabalho, formatação e revisão final do manuscrito.

REFERÊNCIAS

ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers). (2011). ASABE EP496.3 FEB2006: Agricultural Machinery Management. ASABE.

Balastreire, L. A. (1990). Máquinas agrícolas. Manole.

Castro, N. R., Gilio, L., & Machado, G. C. (2022). Impactos da mecanização na produtividade agrícola agregada da cana-de-açúcar no estado de São Paulo de 2007 a 2013. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(2), e235496. https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.235496

Fonseca, M. D. da. (2002). Mecanização agrícola: gestão e custos. *Revista Engenharia Agrícola*, 22(1), 1–12.

Kay, R. D., Edwards, W. M., & Duffy, P. A. (2020). Farm Management (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Meier, F. R., Altíssimo, J. C., Ziegler, W., & Muller, V. (2023). Avaliação do dimensionamento de máquinas de uma propriedade rural com atividade de grãos. *Brazilian Journal of Development*, 9(2), 6996–7003.

Mialhe, L. G. (1996). *Máquinas motoras na agricultura* (Vol. 1). EDUSP.

Oliveira, D. A. S., Albuquerque, G. C. A., Ribeiro, V. G., Neto, A. F., & Oliveira, F. J. V. (2023). Análise de custos operacionais de máquinas e implementos agrícolas na produção de manga (Mangifera indica). *Revista Foco*, 16(7), e2498. https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n7-001

Pereira Filho, W. J., Compagnon, A. M., Tomaz, P. H. A., Lemes, L. M., & Franco, F. J. B. (2020). Caracterização dos tratores agrícolas de rodas comercializados no Brasil. *Ambiência*, 16(1), 772–781.

Reis, G. N. dos. (2017). Análise dos custos operacionais de máquinas agrícolas em propriedades rurais do Cerrado. *Ciência Rural*, 47(3), e20160447. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2016044