

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARIA JULIANA SOARES DA SILVA SANTOS

**OTIMIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE SEMEADURA COM USO DE
FERRAMENTAS DIGITAIS NA AGRICULTURA**

Alegrete

2023

MARIA JULIANA SOARES DA SILVA SANTOS

**OTIMIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE SEMEADURA COM USO DE
FERRAMENTAS DIGITAIS NA AGRICULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius dos Santos Cunha

**Alegrete
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

S237 Santos, Maria Juliana Soares da Silva

OTIMIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE SEMEADURA COM USO DE FERRAMENTAS DIGITAIS NA AGRICULTURA / Maria Juliana Soares da Silva Santos. 39 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2023.

"Orientação: Vinícius dos Santos Cunha".

1. Agricultura de precisão. 2. Semeadura. 3. Eficiência operacional. I. Título.

MARIA JULIANA SOARES DA SILVA SANTOS

**OTIMIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE SEMEADURA COM USO DE
FERRAMENTAS DIGITAIS NA AGRICULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 14, julho, 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Vinícius dos Santos Cunha

Orientador

(Unipampa)

Eng. Agric. Giulian Rubira Gautério

(Unipampa)

Eng. Agric. Sueli Elisa Kullmann



Assinado eletronicamente por **VINICIUS DOS SANTOS CUNHA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/07/2023, às 20:14, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GIULIAN RUBIRA GAUTERIO, ENGENHEIRO-AREA**, em 22/07/2023, às 19:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis



Assinado eletronicamente por **SUELI ELISA KULLMANN, Usuário Externo**, em 22/07/2023, às 23:29, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_externo=0, informando o código verificador **1194107** e o código CRC **56B5316F**.

Dedico este trabalho ao meu avô,
Agripino Ciriaco dos Santos (in
memorian). Completamos nosso sonho,
obrigada por tudo.

AGRADECIMENTO

A Deus, que foi minha maior fortaleza e consolo em todos os momentos vividos, por sempre me guardar, capacitar e guiar meus passos.

Aos meus pais, Maria Elezilda e Agripino, por todo o encorajamento e confiança. Por serem meus maiores exemplos de vida e por toda dedicação conjunta em me ajudar a realizar esse sonho.

Ao meu orientador, Dr. Vinicius dos Santos Cunha, por toda a confiança e paciência em me ajudar, pelo compartilhamento de conhecimento e experiências durante a orientação.

Aos meus tios e tias, em especial aos tios José Gracione (in memorian), por sempre ter acreditado em mim e por ter tido sempre a certeza de que eu finalizaria o curso, Antonio José, pelas palavras de encorajamento a mim ditas quando passei por momentos de fragilidade, José Antônio e Arion dos Santos, por toda ajuda com custos e despesas em todos esses anos.

Aos meus primos, Gabriel Lucas e Anthony David, por sempre se fazerem presentes em meio à distância, por todas as chamadas de vídeo e risadas compartilhadas e principalmente por nada entre a gente ter mudado.

A minha irmã, Maria Adriana, pelo exemplo de força e coragem que me fizeram aprender a ser uma pessoa melhor e a encarar as dificuldades da vida com outra perspectiva.

As professoras Fátima Cibele Soares e Eracilda Fontanela, por todas as conversas, cuidados e por todo carinho a mim dado.

A todos os colegas de curso, pelas horas de estudo, compartilhamento de listas e encorajamento antes das provas e trabalhos.

E a Eduarda Peres, minha colega de casa e irmã de alma, nosso encontro em Alegrete era um plano de Deus. Muito obrigada por ser meu colo nesses anos, por todos os choros e risos, por todas as refeições compartilhadas, saídas, por estar comigo nos bons e maus momentos, te levarei por toda a vida.

Sem vocês, nada seria possível, muito obrigada!

“Ser corajoso não significa não ter medo.
Ser corajoso significa avançar, apesar de
ter medo”.

(Neil Gaiman)

RESUMO

A busca por produtividades rentáveis tem crescido de maneira significativa ao decorrer dos anos. Nesse cenário, a agricultura de precisão, por atuar na gestão operacional de lavouras, colabora no alcance de metas estimadas relacionadas a um planejamento mais eficiente, o que resulta em processos, antes feitos de forma empírica, mais eficazes e com maior rentabilidade. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo de estimar o potencial benefício da utilização do planejamento da semeadura da cultura do arroz irrigado por meio do software AgroCAD. A área do estudo está localizada na cidade de Itaqui, na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, onde a pesquisa foi conduzida no ano de 2023. O estudo foi constituído de dois cenários distintos para a realização da operação de semeadura, correspondentes a: (i) sentido usual efetuado pelo produtor e (ii) planejamento do tráfego para realização da operação. Como variáveis resposta, o trabalho avaliou o efeito sobre a capacidade operacional e o custo com combustível. O cenário representado pelo planejamento prévio da operação, no software resultou, em maior eficiência operacional, em função de necessitar um menor número de linhas para completar a semeadura e, conseqüentemente, menor tempo de execução. A economia nos gastos em consumo de combustível se destacou nos talhões que apresentaram áreas maiores e geometrias irregulares, pois é onde o operador tem maior dificuldade em encontrar o melhor sentido de execução da operação.

Palavras-Chave: Agricultura de precisão, Semeadura, Eficiência operacional.

ABSTRAC

The search for profitable productivity has grown significantly over the years. In this scenario, precision agriculture, by acting in the operational management of crops, collaborates in achieving estimated goals related to more efficient planning, which results in processes, previously done empirically, more effective and more profitable. With this, the present work aimed to estimate the potential benefit of using the sowing planning of the irrigated rice crop through the AgroCAD software. The study area is located in the city of Itaqui, in the Western Frontier of Rio Grande do Sul, where the research was conducted in the year 2023. The study consisted of two different scenarios for carrying out the sowing operation, corresponding to: (i) usual direction made by the producer and (ii) traffic planning to carry out the operation. As response variables, the work evaluated the effect on operational capacity and fuel cost. The scenario represented by the previous planning of the operation, in the software, resulted in greater operational efficiency, due to the need for a smaller number of rows to complete the seeding and, consequently, shorter execution time. The savings in fuel consumption expenses stood out in the plots that presented larger areas and irregular geometries, as it is where the operator has greater difficulty in finding the best direction of execution of the operation.

Keywords: Precision agriculture, Sowing, Operational efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de condução do experimento.....	23
Figura 2 – - Sentido adotado para cada cenário	25
Figura 3 – Quantidades de linhas de semeadura.....	29
Figura 4 – Metros percorridos no talhão.....	30
Figura 5 – Tempo gasto em h/ha	31
Figura 6 – Tempo total (h).....	31
Figura 7 – Consumo Total de combustível.....	32
Figura 8 – Custos totais com combustível.....	33
Figura 9 – – Capacidade operacional efetiva	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores das áreas em ha.....	15
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

AP. – Agricultura de precisão

GGE. – Gases do efeito estufa

SSAGC. – Sentido de Semeadura do AgroCAD

SSUO. – Sentido de Semeadura Usual do Operador

LISTA DE SIGLAS

IPCC.– Intergovernmental Panel on Climate Change

RTK - Real Time Kinematic

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo Geral	17
1.2	Objetivos específicos.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Efeito da compactação sob o solo	17
2.2	Efeito dos gases emitidos por maquinários no meio ambiente.....	18
2.3	Eficiência Operacional.....	19
2.4	Softwares.....	20
2.5	Análise Econômica.....	21
2.6	AGricultura de Precisão.....	23
3.1	Local do estudo	24
3.2	Composição dos fatores de estudo.....	25
3.3	Variáveis resposta	27
3.3.1	Parametrização Utilizada.....	27
3.3.2	Capacidade operacional teórica.....	27
3.3.3	Capacidade operacional efetiva... ..	28
3.3.4	Eficiência operacional	28
3.3.5	Consumo de combustível	29
4	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	30
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS.....	37

INTRODUÇÃO

Em meados do século passado, a agricultura brasileira ainda era bastante primitiva, apresentando, de modo geral, uma maior prevalência de trabalho executado manualmente. Nesse período, especificamente, menos de 2% das propriedades rurais utilizavam máquinas agrícolas, sendo dependentes de tração animal. Esse era um dos motivos da baixa eficiência da agricultura, que colocava o país em um contexto de baixa capacidade de produção. Logo, para contornar esse problema e aumentar a produtividade, o governo fundou, no ano de 1986, políticas específicas que envolviam investimentos em pesquisas e desenvolvimentos, extensão rural e crédito farto, dando início ao processo de uma intensa modernização (EMBRAPA, 2018).

Nos últimos anos, a agricultura brasileira vem alcançando avanços significativos, possibilitando o desenvolvimento de técnicas, tecnologias e práticas mais eficientes, tais como, o advento do uso de piloto automático, embarcado em máquinas agrícolas, com correção diferencial e posicionamento (MOLIN et al., 2011). A utilização dessas tecnologias traz otimização de tempo para realização de operações, aumento da eficiência operacional, redução no custo de produção, redução da emissão de gases do efeito estufa e conservação dos solos agrícolas (BERTOLLO et al., 2019).

A qualidade do solo é uma característica de relevada importância para o bom desempenho das culturas. Todavia, a qualidade no solo pode ser afetada pela compactação gerada pelo tráfego indiscriminado de máquinas, durante as operações executadas ao longo do ciclo. Esse impacto se dá por meio do rearranjo de partículas, que aumenta a resistência à penetração radicular, diminui a capacidade da absorção de água e nutrientes, ocasionando, conseqüentemente, queda na produtividade (BERTOLLO et al., 2019).

Nesse cenário, foram desenvolvidas ferramentas que possibilitam planejar as diversas operações, tais como a semeadura, pulverização e colheita, assim como executá-las, com acurácia e precisão o planejamento. Parte dessas tecnologias se resumem ao uso de piloto automático e sinais de correção diferencial, tanto com correção por sinal de rádio ou por satélite (GIRARDELLO et. al., 2013).

Nessa perspectiva, a agricultura de precisão (AP) se tornou um recurso imprescindível na gestão operacional das lavouras brasileiras. Por meio das ferramentas e conceitos da AP, o planejamento das operações pode ser efetuado, previamente, otimizando tempo, além de elevar o nível de qualidade das operações controlando o uso de insumos e aumentando produtividade.

O referido planejamento da operação, consiste em verificar a melhor maneira para que etapas, antes feitas com base na experiência do operador quanto ao terreno, se tornem mais precisas, por meio de estudo prévio da área a ser cultivada. Para tanto, se faz importante o levantamento prévio dos vértices, de modo a planejar a operação com base no número de manobras ou mesmo com base no nível do terreno.

O sistema RTK, por sua vez, é parte importante para a execução de projetos dentro da AP, consistindo na correção do posicionamento em tempo real. O seu uso permite alguns benefícios diretos ao produtor como, por exemplo, a garantia de uma baixa ou quase nula sobreposição entre passadas, reduzindo o gasto com insumos (MOLIN et al., 2011). Permite também alguns benefícios ao solo como, por exemplo, que o rodado das máquinas trafegue sempre pelo mesmo lugar, reduzindo o percentual de área com solo compactado (BERTOLLO et al., 2019).

Ante o exposto, torna-se evidente que as práticas atuais de agricultura se utilizam de tecnologias cada vez mais sofisticadas para manejo das culturas e alcance de altas e lucrativas produtividades. Desse modo, a utilização de ferramentas digitais representa um recurso de expressivo auxílio para os produtores, por contribuir para otimização das operações, desde o preparo do solo até a colheita. Logo, ainda que, avanços significativos tenham sido realizados nos últimos anos, ainda existe a necessidade de explorar e desenvolver novos estudos mais aprofundados nessa área com o intuito de analisar os resultados sobre a eficácia de tais ferramentas, buscando, constantemente, seu aprimoramento. Além disso, a divulgação de informações atualizadas contribui para a disponibilidade de acervos na literatura para a realização de futuras pesquisas.

1.1 Objetivo geral

Estimar o potencial benefício da utilização do planejamento do tráfego na semeadura utilizando o software AgroCAD, comparando cenários com e sem o planejamento em diferentes talhões, em uma lavoura de arroz irrigado na Fronteira Oeste do Rio Grande Do Sul.

1.2 Objetivos específicos

- Verificar o efeito do planejamento prévio da operação de semeadura na eficiência operacional, em diferentes cenários, com e sem planejamento da operação.
- Avaliar o custo da operação, por meio da estimativa do consumo de combustível, na operação semeadura, em diferentes cenários, com e sem o planejamento da operação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Efeito da compactação sob o solo

Durante o período de produção de uma cultura, ocorre a necessidade da passagem de máquinas na região de cultivo para realização de variadas etapas como o semeio, tratos culturais em geral e colheita. Nesse sentido, algumas condutas de manejo do solo e das culturas são capazes de alterar as propriedades físicas do solo de maneira temporária ou permanente (SARI et al., 2023).

Dentro desse contexto, a introdução de tecnologias inovadoras aos maquinários agrícolas, tornou-os mais eficientes. Contudo, na mesma proporção, tais máquinas também se tornaram de maior tamanho, o que implica em um peso maior e, conseqüentemente, em um aumento da pressão exercida contra o solo durante seu uso, o que pode induzir algumas repercussões como a sua possível compactação (SARI et al., 2023).

A compactação do solo agrícola, por sua vez, pode ser definida como um processo que envolve a mudança na relação entre a massa e o volume que ocasiona o aumento da densidade do solo, além do aumento da sua resistência à penetração e da redução da sua porosidade total (BERTOLLO et al., 2019).

Nesse contexto, Alakukku e Elomen (1994) apontam que a compactação do solo tem ganhado destaque mundial por ser um dos fatores responsáveis por limitar a qualidade física das terras agrícolas, o que compromete diretamente o alcance de índices elevados de produtividade.

Segundo Lima e Sirtoli (2006), o tráfego de máquinas agrícolas exerce forças mecânicas superiores à capacidade de apoio do solo, alterando a estrutura e o arranjo de agregados, modificando a porosidade. Diante disso, as plantas ficam submetidas a situações desfavoráveis, propícias a limitações ao estabelecimento do sistema radicular, absorção de água e nutrientes, reduzindo, assim, a produtividade.

Em síntese, a compactação afeta negativamente a produtividade das culturas, sendo considerada como uma das principais causas da deterioração da qualidade físico-hídrica dos solos agrícolas (ALBA et. al, 2021). Esse fato é corroborado pelos autores Canillas e Salokhe (2002) que reforçam que esse efeito tem se configurado

como um dos principais determinantes que causam a degradação dos solos agrícolas (CANILLAS; SALOKHE, 2002).

2.2 Efeito dos gases emitidos por maquinários no meio ambiente

A necessidade de produção de alimentos em grande escala para atender a alta demanda exigida pela população representa um desafio considerável enfrentado ao longo dos anos. Diante disso, na tentativa de elevar a produtividade, ocorreu o lançamento de aparatos tecnológicos para emprego na agricultura e, muitos deles, requerem uma maior incorporação de quantidade de energia nos sistemas de produção (MANTOAM, 2016).

Em grande parte dos casos, esse aumento de energia requisitado é assegurado pela utilização de energia fóssil, considerando o maior uso de insumos como fertilizantes, defensivos e maquinários agrícolas em geral, ocorre um risco de aumento do nível de aquecimento global, juntamente a emissão de gases de efeito estufa (GEE), podendo trazer profundos impactos para as futuras gerações (MANTOAM, 2016).

A temática envolvendo as repercussões ambientais da agricultura relacionadas aos GEE tem ganhado evidência. Segundo dados fornecidos pelo Intergovernmental Panel on Climate Change do ano de 2019, aproximadamente 23% das emissões globais de GEE são provenientes da silvicultura, agropecuária e outros usos da terra. (IPCC, 2019).

Adicionalmente, constatou-se que a agricultura contribui com, aproximadamente, 20% do total de GEE de origem antropogênica segundo informações fornecidas pelo IPPC (SALIBA, 2015).

A emissão de poluentes dos motores de máquinas agrícolas, por sua vez, está sujeita diretamente ao consumo de combustível, em diferentes condições de operação (TSE et al., 2015 apud. SILVEIRA et. al., 2023).

O controle de trânsito de máquinas, por meio do planejamento prévio das operações, é um sistema que ajuda a evitar a compactação indiscriminada na área de cultivo, o que pode, por vezes, causar uma determinada limitação na produtividade. Sendo assim, lavouras conduzidas por um planejamento das operações, a longo prazo, possibilitam o confinamento operacional sempre no

mesmo rastro, compactando menor quantidade de área. Tal confinamento do tráfego pode resultar em benefícios ambientais, pois adensa as regiões trafegadas, reduzindo a demanda de potência, consumo de combustível e, conseqüentemente, levando a uma menor emissão de gases (GOEH, 2015).

2.3 Eficiência Operacional

Para a obtenção de uma maior margem de lucratividade na produção é necessário que o trabalho seja executado com a maior eficiência possível dos meios de produção (ROSIN, 2017). Visando isso, nos últimos anos, pequenos e grandes produtores direcionaram seus investimentos financeiros em maquinários tecnológicos de elevada potência em virtude do significativo fortalecimento da inclusão e aprimoramento da mecanização na agricultura (OLIVEIRA, 2000).

No entanto, o processo de mecanização agrícola gera muitas despesas relacionadas ao custo demasiado dos combustíveis, depreciação das máquinas, manutenção, entre outros. Sendo assim, a fim de conter tais gastos, deve-se preconizar o uso mais racional das máquinas de modo a tentar, constantemente, alcançar a maior eficiência operacional nas atividades a campo (ROSIN, 2017). Corroborando com isso, Borsatto (2009) afirma que para empregar maquinários, implementos e ferramentas na agricultura para a efetivação de atividades é preciso conhecer a capacidade de trabalho, bem como a eficiência de campo.

Tendo em vista que o planejamento agrícola inadequado pode induzir repercussões negativas como o aumento do tempo operacional, o que pode ocasionar um retardo na implantação da cultura e, possivelmente, uma redução da sua produtividade (MATOS et al., 2005), o levantamento das perdas por atraso de operação é crucial para escolher devidamente as máquinas para uso na agricultura, visto que tal ação evita eventuais episódios de subdimensionamento ou sobrecarga de trabalho (WITNEY, 1998).

Logo, o correto planejamento da mecanização agrícola em uma propriedade também configura-se, atualmente, como um aspecto relevante, uma vez que nele se inclui a disposição de todas as operações a serem realizadas, bem como o período temporal que elas exigem para sua execução (DALLAPORTA, 2017).

Dessa forma, o planejamento agrícola se tornou progressivamente substancial para que a seleção das máquinas destinadas a uma determinada propriedade agrícola seja feita de acordo com a demanda exigida por essa propriedade de tal forma que seja proporcional a sua real situação econômica. Para que isso seja realizado, o conhecimento acerca da eficiência operacional de cada equipamento é necessário com a finalidade de calcular sua capacidade máxima de campo operacional que ele consegue exercer em uma jornada de trabalho com o intuito de reduzir despesas excedentes com maquinários desnecessários (DALLAPORTA, 2017).

De acordo com Modolo (2003), ocorre um aumento da eficiência operacional quando o uso de máquinas e equipamentos agrícolas é realizado de forma adequada, o que facilita o trabalho humano no campo e promove, simultaneamente, o aumento da produtividade.

Corroborando com os dados já citados, o autor Delafosse (1986) enfatizou que a utilização correta de aparelhos agrícolas gera o aumento na capacidade efetiva de trabalho, promovendo além de melhores produtividades, a capacidade de atender ao cronograma de operações em tempo ágil.

Rosin (2017) aponta outros fatores que são determinantes para um aumento da eficiência operacional como os seguintes: o formato do talhão, a habilidade do operador, a declividade do terreno, entre outros.

Adicionalmente, Rosin (2017) reforça que para a obtenção de uma maior eficiência operacional, as máquinas agrícolas em uso requerem uma manutenção preventiva e periódica com o intuito de evitar possíveis perdas de tempo no momento da semeadura ou colheita.

2.4 Softwares

Como em todas as áreas, os softwares são instrumentos de grande relevância para facilitar as análises na obtenção de bons resultados (NARDO, 2015). A agricultura de precisão requer a aquisição, gerenciamento, processamento e análise de grandes quantidades de dados, que variam de acordo com o local e o tempo. (EMBRAPA, 2005).

Alguns softwares realizam operações que melhoram o processo de produção das etapas agrícolas. O AcrGIS oferece uma grande variabilidade para análise espacial, contendo informações geográficas (GIS), podendo editar, gerenciar, capturar e compartilhar dados (ESRI, 2023).

Outro software que explora atividades para a agricultura de precisão é o C3DFarm, que realiza estudos precisos para a execução de atividades de campo através da linguagem de programação moderna, oferecendo criação e comparação de cenários por meio de relatórios customizados (CSBIM, 2023).

O software AgroCAD, é uma ferramenta completa construída para atender a projetos para agricultura de precisão, a qual almeja integrar e direcionar as ferramentas de CAD, topografia e geoprocessamento, com a finalidade de aumentar substancialmente a produtividade (TECGRAF, 2023).

2.5 Análise Econômica

Diante da atual conjuntura econômica, os custos operacionais têm se tornado cada vez mais preocupantes para os produtores brasileiros. Nesse cenário, a otimização das atividades se configura como uma das principais estratégias para reduzi-los (SANTI et. al., 2017).

As despesas associadas à mecanização das operações agrícolas, por sua vez, têm assumido significativa fração nos valores finais de produção. Todavia, isso não denota, obrigatoriamente, que os custos gerados no sistema cresçam em conformidade com a introdução das tecnologias agrícolas. Tais avanços tecnológicos possibilitam explorar um determinado conjunto mecanizado que contribui para a obtenção de aumentos na capacidade operacional e no rendimento (SANTI et. al., 2017).

Para a realização da análise econômica é preciso uma avaliação conjunta entre os custos de aquisição, manutenção e a resposta obtida em parâmetros agrônômicos, onde se tem emprego dos métodos da AP (SANTI et. al., 2017).

Milan (2014) aponta que o cálculo dos custos direto, indireto e operacional indica o desempenho econômico das máquinas agrícolas. Neste enquadramento, os custos diretos são aqueles equivalentes à posse e ao uso do equipamento, enquanto os indiretos são relacionados a um dimensionamento incorreto que causa

quedas na produtividade ou na qualidade da mercadoria. Já o custo operacional se refere a capacidade de trabalho (MILAN, 2014).

Segundo Nardo (2015), o setor agrícola necessita do ajuste das receitas e dos custos de tal forma que assegure a rentabilidade do negócio. Nessa perspectiva, analisar minuciosamente as despesas envolvidas, como também definir as propriedades para reduzi-las de maneira que não comprometa a sustentabilidade do empreendimento representam condutas viáveis para impedir a queda de rentabilidade.

Além disso, Nardo (2015) ratifica que outro recurso estratégico como o sistema mecanizado, que se caracteriza por um conjunto de equipamentos capazes de executar processos de implementação, condução e retirada de culturas, é substancial para potencializar a lucratividade. Levando em consideração as noções apresentadas, o tráfego controlado na agricultura surge como uma filosofia de administração das operações que deriva de informações precisas para tomada de decisões exatas.

O grau de sofisticação da tecnologia dentro do controle de tráfego, contudo, que está intrinsecamente ligado ao custo do equipamento, não necessita, obrigatoriamente, ser igual em todos os ramos agrícolas e em todos os modelos e marcas de sistema de orientação disponíveis no mercado. Dessa forma, é preciso realizar a qualificação de tais equipamentos e, para isso, deve-se medir o erro de paralelismo desses sistemas e ter conhecimento acerca do nível de desempenho ofertado, com o propósito de adequar, da melhor forma, o equipamento de acordo com às demandas do usuário, favorecendo o uso racional da tecnologia, com uma relação entre custo e benefício otimizada (MOLIN et. al, 2011).

No que concerne ao consumo de combustível, segundo Roque et al. (2010) apud Bertollo (2019), a adoção do tráfego controlado na agricultura permite a redução na utilização de diesel nas operações, pois sua admissão apresenta menor resistência à ruptura do solo durante a sulcação da cana-de-açúcar e melhora a capacidade de tração do trator, uma vez que se leva em consideração que uma maior área de solo não está compactada.

2.6 Agricultura de precisão

Atualmente, a significativa contribuição das novas tecnologias para a agricultura é inegável, em especial para o gerenciamento econômico. As inovações, sobretudo nos equipamentos agrícolas, impulsionaram uma nova fase de monitoramento mais eficiente das operações e otimização dos insumos aplicados. Tais melhorias têm desempenhado um papel fundamental em tornar as práticas agrícolas mais eficazes e sustentáveis (RESENDE, 2010).

Segundo Brasil (2012), a AP é considerada um sistema de gerenciamento que se baseia na análise da variação temporal e espacial da área produtiva, visando melhorar as práticas ambientais e a obtenção de um maior retorno econômico. Essa abordagem é aplicável tanto em pequenas áreas quanto extensas e busca maximizar a eficiência e sustentabilidade das atividades agrícolas.

Além disso, alguns estudiosos detalham que a agricultura de precisão é um processo agrícola que assegura a padronização da área cultivada, reduzindo a variabilidade, otimização da produção e mudanças no cultivo (DE OLIVEIRA, 2020).

De acordo com De Silva (2019), a adoção da AP é comumente dividida em quatro etapas distintas: a) monitoramento intensivo, b) gestão e integração de mapas, c) sistematização da modelagem agrônômica, d) aplicação diferenciada de insumos, levando em consideração os locais, momentos e quantidades necessárias. A integração dessas etapas permite a efetuação dos cálculos de índice de produção, fornecendo orientação sobre o tipo de manejo adequado.

3 METODOLOGIA

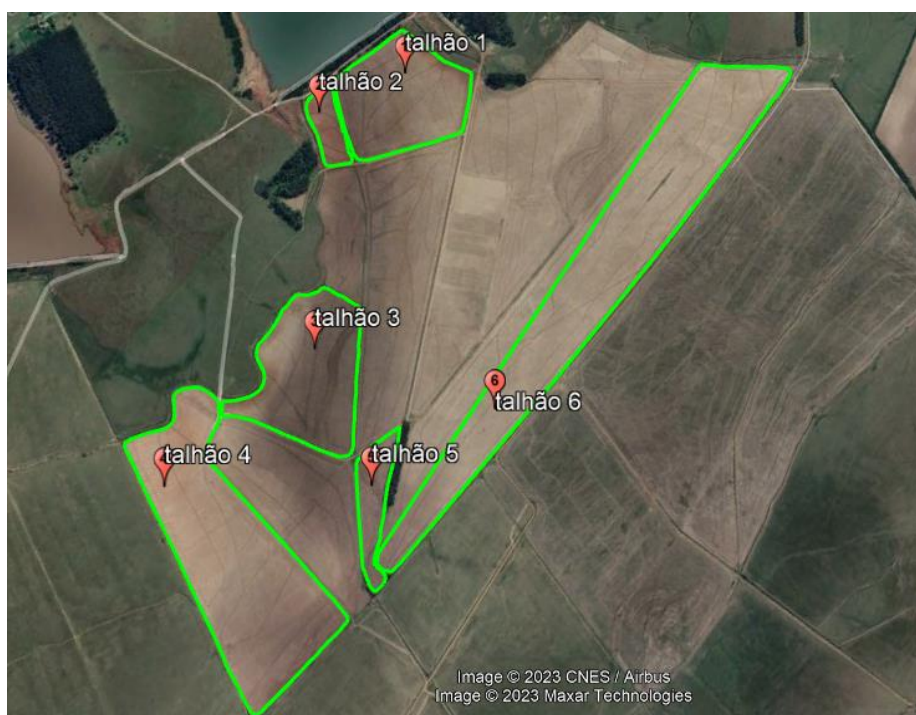
3.1 Local do estudo

A área destinada para o estudo está pertencente a uma propriedade agrícola situada no município de Itaqui/RS. As coordenadas do local não serão apresentadas, bem como não será feita nenhuma outra menção a propriedade e seus proprietários por solicitação dos mesmos, de modo a preservar sua imagem.

O histórico da área contempla majoritariamente o cultivo do arroz irrigado por inundação, e possui área total de, aproximadamente, 237 hectares. Apresenta ainda uma declividade de 0,75% de acordo com dados planialtimétricos levantados.

A Figura 1 representa as dimensões da área, medidas através da plataforma Google Earth, enquanto na Tabela 1, estão representados seus respectivos valores.

Figura 1. Área de condução do experimento.



Fonte: Google Earth, 2023.

Tabela 1 – Valores das áreas em ha.

Número do talhão	Área (ha)
Talhão 1	15.85
Talhão 2	2.61
Talhão 3	15.23
Talhão 4	31.77
Talhão 5	3.89
Talhão 6	54.90

Fonte: Autoral.

3.2 Composição dos fatores de estudo

O estudo foi conduzido em seis talhões, onde foram estimados cenários distintos para a realização da operação de semeadura: (i) sentido usual efetuado pelo operador e (ii) planejamento do tráfego para realização da operação, expressos nesse trabalho pelas siglas SSUO e SSAGC, respectivamente.

O cenário (i) foi obtido por meio da coleta do sentido da operação de semeadura, realizada pelo próprio operador, na semeadura da cultura do arroz irrigado na safra 2022/2023. Na referida operação de semeadura, o operador, utilizando piloto automático embarcado no trator, gerou uma linha de orientação para cada talhão, de modo a realizar a operação, com base na sua experiência e conhecimento a respeito dos limites da área. Cada linha de orientação ficou gravada no monitor do trator e durante a entressafra, em abril de 2023, utilizando a mesma linha de orientação, de cada talhão, o operador executou uma operação para coleta de dados planialtimétricos. Utilizando os dados planialtimétricos levantados foi possível recriar o sentido utilizado na operação e assim gerar o cenário (i).

O trator utilizado para a coleta dos dados planialtimétricos é o modelo 6150J, marca John Deere. Esse trator é equipado com terminal GreenStar™ 3 2630, acoplado a um sistema de direcionamento automático por acionamento hidráulico, trabalhando com sistema de correção posicional transmitido via rádio, do tipo RTK, com precisão centimétrica. Para a semeadura, esse trator opera acoplado a uma semeadora de arroz modelo SDM com 27 linhas espaçadas em 17 cm, totalizando 4,59 metros de largura de trabalho, da marca Khun.

O cenário (ii) foi gerado por meio do software AgroCAD®. Esse software funciona como um plug-in desenvolvido pela empresa Tecgraf Agro, para funcionar dentro do software AutoCAD Civil 3D®, pertencente a empresa Autodesk. O software AgroCAD, quando abastecido de dados planialtimétricos, possui a capacidade de gerar diferentes cenários com linhas de orientações retas, fazendo uma verificação do ângulo 0 até 180°, apresentado para o analista informações sobre: número de manobras, comprimento médio das linhas, comprimento total e percentual de áreas semeadas morro abaixo. Assim, é possível selecionar a linha de orientação com menor número de manobras e maior comprimento médio, de modo a utilizar o sentido de operação que seja mais interessante. Em nosso estudo, buscamos utilizar o sentido que demandaria menor tempo de execução, ou seja, aquele com menor número de manobras e maior comprimento médio das linhas.

As manobras de cabeceira não foram planejadas no AgroCAD, de modo que o tempo gasto, bem como o percurso percorrido durante a manobra, foram considerados os mesmos para ambos os cenários. Tendo ambos os cenários geoespacializados, é possível então estimar quais as diferenças potenciais entre ambos os cenários.

A figura 2 ilustra o sentido de semeadura de cada cenário dentro dos talhões, adotando vermelho para o cenário (i), e azul para o cenário (ii).

Figura 2 – Sentido adotado para cada cenário.



3.3 Variáveis resposta

3.3.1 Parametrização Utilizada

Para chegar ao resultado da eficiência operacional foram padronizados elementos necessários para os cálculos nos talhões. A eficiência operacional considera uma situação hipotética apresentando valor de 100%.

A primeira padronização efetuada foi através da estimativa do tempo gasto para completar a operação de semeadura e pelo consumo de combustível obtido em cada tratamento, estabelecendo como velocidade média 3 km/h e consumo de combustível de 14 litros/hora em todos os talhões.

Vale ressaltar que, a operação de semeadura não foi efetivamente realizada no campo, sendo analisada em sua totalidade pelo software AgroCAD.

Após a padronização dos elementos chegou-se a um potencial de ganho de tempo na execução da operação e provável economia no consumo de combustível, realizadas pelo programa Excel e expressas através de gráficos informativos.

3.3.2 – Capacidade operacional teórica

A capacidade operacional teórica foi determinada através da equação 1 descrita por Grisso et. al. (2004):

$$COT: \frac{L \times V}{10} \quad (1)$$

Sendo:

COT: Capacidade operacional [ha.h⁻¹];

L: Largura da semeadora [m];

V: Velocidade de operação [Km.h⁻¹].

A velocidade de deslocamento foi estabelecida como um parâmetro, já que todos os cenários foram estipulados e executados através do software.

3.3.3 – Capacidade operacional efetiva

Segundo Grisso et. al. (2014), a capacidade operacional efetiva é obtida através da equação 2:

$$COE = \frac{AT}{TTO} \quad (2)$$

Sendo:

COE: Capacidade operacional efetiva [ha.h⁻¹];

AT: Área total trabalhada [ha];

TTO: Tempo total operado [h].

Como parte dos cenários foram objetos de padronização, a capacidade operacional efetiva será calculada levando em consideração os dados gerados pelo software, seus resultados serão iguais aos obtido para capacidade operacional teórica.

3.3.4 Eficiência operacional

Após os dados calculados nos itens 3.3.2 e 3.3.3, foi possível calcular a eficiência operacional pela equação 3:

$$EO = \frac{COE}{COT} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

EO: Eficiência operacional [%];

COE: Capacidade operacional efetiva [ha.h⁻¹];

COT: Capacidade operacional teórica [ha.h⁻¹].

3.3.5 Consumo de combustível

O consumo de combustível, nos diferentes cenários, foi estimado com base na eficiência operacional descrito no item 3.3.4, sendo representado pela quantidade de litros consumidos para cada hectare trabalhado ($L \cdot ha^{-1}$).

Para estimar o consumo potencial de combustível, em cada cenário, considerou-se o consumo horário padronizado e a capacidade operacional potencial de cada cenário, conforme a equação 4:

$$Consumo = \frac{CH}{COE} \quad (4)$$

Sendo:

Consumo: Consumo de combustível [$L \cdot ha^{-1}$];

CH: Consumo de combustível [$L \cdot h^{-1}$];

COE: Capacidade operacional efetiva [$ha \cdot h^{-1}$].

Para calcular o valor do custo de combustível gasto, adotou-se o valor médio do litro de diesel no Brasil no ano de 2023, sendo 5,04 reais (PETROBRÁS, 2023).

3.4 Análise dos dados

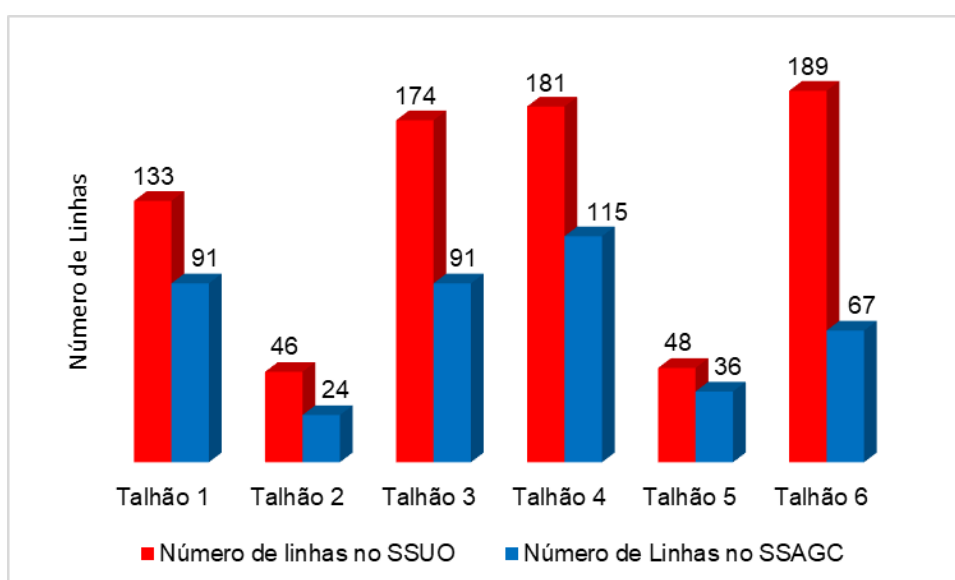
Os resultados de todas as variáveis propostas, para o estudo, foram analisados por meio de média aritmética simples, uma vez que todos os parâmetros que causam variação foram padronizados e os cenários estimados através do software.

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através do software AgroCAD, pôde-se gerar o sentido de semeadura que melhor se adequava ao cenário (ii). Após a estimativa, comparou-se a quantidade de linhas geradas com a quantidade de linhas usualmente efetuadas no talhão, pelo produtor.

A figura 3 demonstra a quantidade de linhas já existentes em comparação às linhas estipuladas pelo software.

Figura 3– Quantidades de linhas de semeadura.



Fonte: Autoral.

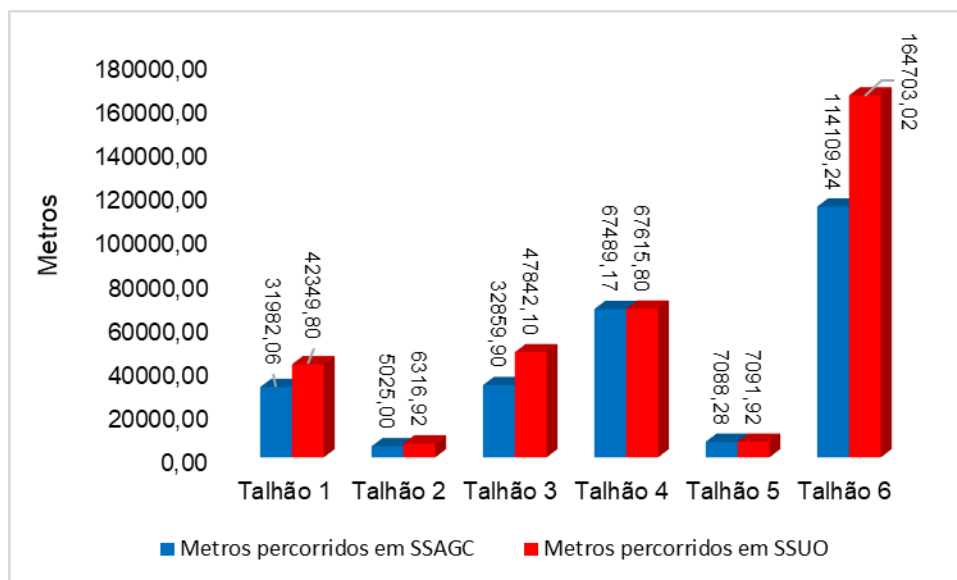
A diferença entre números de linhas gerados no cenário (ii), diferiu para todos os talhões, devido a angulação e sentido apresentados na Figura 2.

Os talhões 1, 3, 4 e 6 se sobressaíram em redução de linhas geradas no SSAGC. A diferença de linhas entre os cenários em destaque foi de 42 linhas (31,58%) para o talhão 1, 83 linhas (47,7%) para o talhão 3, 66 linhas (36,46%) para o talhão 4 e 122 linhas (64,55%) para o talhão 6.

Ainda foi possível evidenciar que os valores dos talhões 1, 3, 4, 5 e 6 apresentavam valores superiores a 100 linhas geradas no cenário (i), e quando comparadas ao cenário (ii), apresentaram reduções para valores inferiores ao anterior, com exceção do talhão 4, que apesar de apresentar um valor superior a 100 linhas, obteve uma redução considerável.

Os resultados apresentados implicarão na diminuição de metros totais percorridos pela semeadora, como descritos na figura 4.

Figura 4 – Metros percorridos no talhão.



Fonte: Autoral.

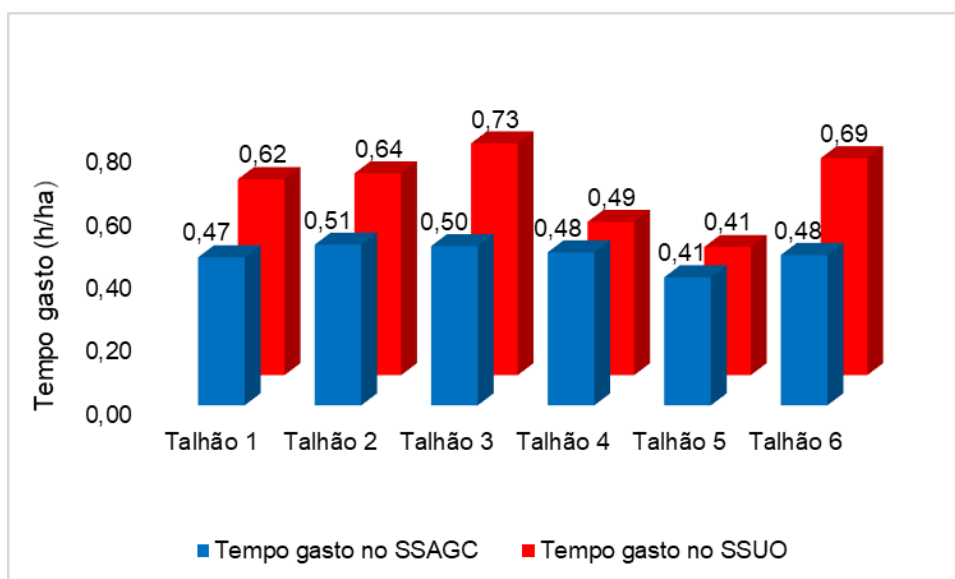
Em relação aos metros percorridos, o tamanho da área implica diretamente nos resultados de percurso em ambos os cenários. Os talhões 2 e 5 apresentaram valores quase equivalentes para os dois sentidos de semeadura, por serem talhões de menores áreas e com geometria menos irregular.

No talhão 4, apesar de apresentarem quantidades de linhas diferentes, o resultado da metragem foi equivalente em ambos os cenários.

Os talhões com geometria menos uniformes, apresentaram maior diferença em metros do que os que possuem geometria mais regular. Os talhões 1, 3 e 6 continuaram se sobressaindo em relação aos outros talhões, por apresentarem maiores diferenças entre número de linhas geradas.

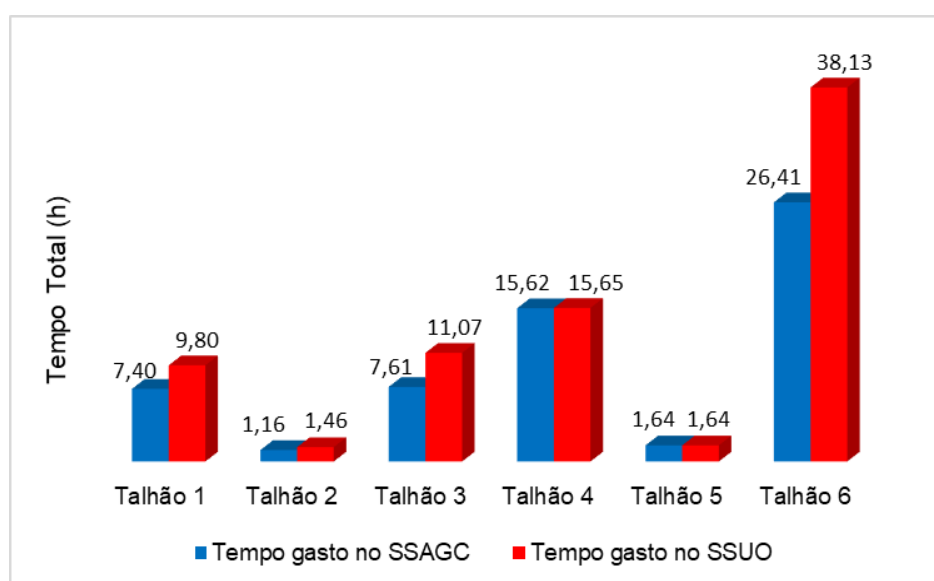
A diminuição dos metros percorridos ocasionou na diminuição de tempo de operação, apresentadas nas figuras 5 e 6, uma vez que, quanto maior o percurso, maior o tempo de semeadura.

Figura 5 – Tempo gasto em h/ha.



Fonte: Autoral.

Figura 6 – Tempo total (h).



Fonte: Autoral.

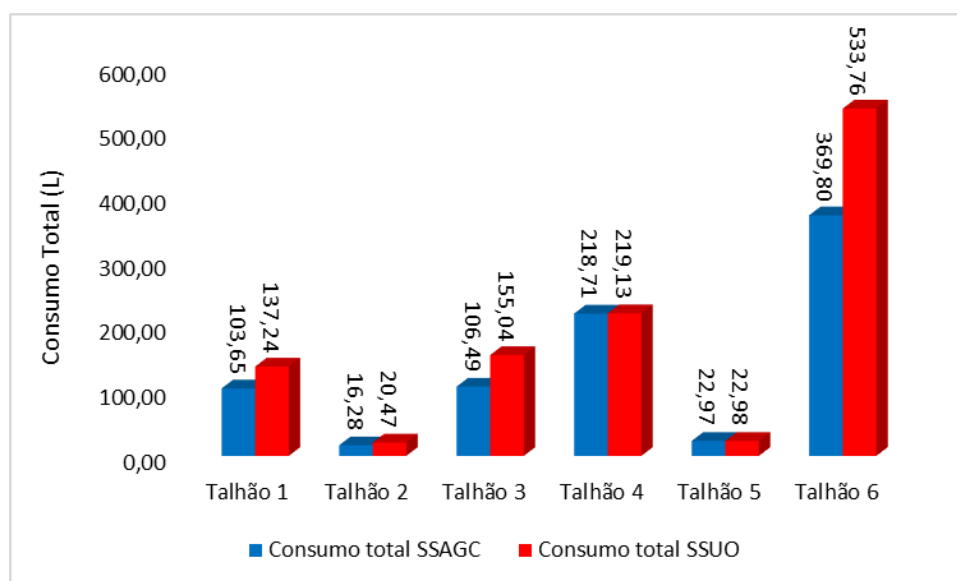
Nas descrições da figura, foi possível observar que nos talhões 4 e 5, o tempo de operação foi coincidente. Já no talhão 2, os cenários apontaram uma diferença de 0,30 horas, possuindo o menor tempo entre os cenários, apresentando 20,55% de redução em comparação dos cenários.

A maior diferença se deu no talhão 6, ocorrendo uma redução de 11,72 horas ou seja, 30,74% em relação ao cenário (i). Ao adotar o SSAGC para essa área, o

operador poderá obter uma melhor qualidade na ergometria e aproveitamento em relação às horas de trabalho, possibilitando a realização de outras atividades.

Através dos valores das áreas e os litros de combustível por hectare, foi possível determinar o consumo total de combustível, exibido na figura 7.

Figura 7 – Consumo Total de combustível.



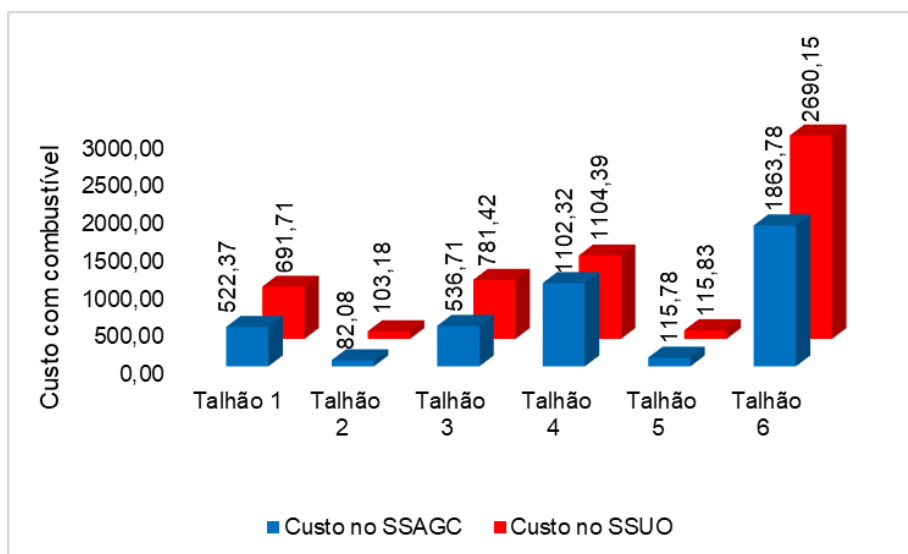
Fonte: Autoral.

Nas descrições da figura 7, observa-se que os valores para consumo foram indiferentes entre os cenários nos talhões 4 e 5, devido aos metros percorridos apresentados na figura 5. Já no talhão 2, os valores apresentaram uma discreta diferença de 4,19 litros também referentes a metragem na área.

Nos talhões 1 e 3, a operação para o cenário (ii) teve uma economia de 33,59 litros e 48,55 litros respectivamente.

Como previsto, o maior talhão apresentou o maior consumo, tanto para a semeadura usual, quanto para a estimada no software. Comparando os cenários, houve uma redução de 163,96 litros entre operações, o que acarretará na redução de custo em reais, demonstradas na figura 8.

Figura 8 – Custos totais com combustível.

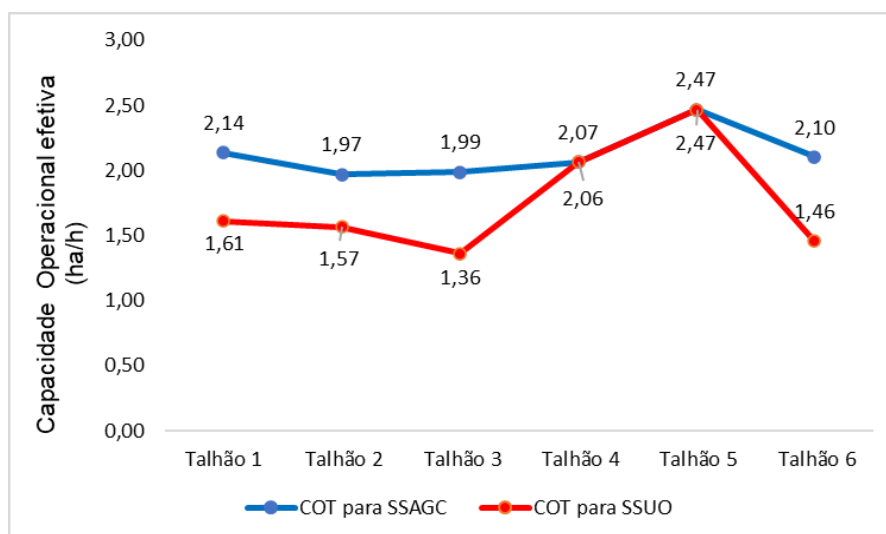


Fonte: Autoral.

O custo de combustível tem ligação direta com o consumo total de litros gasto por talhão. Visto isso, os resultados referentes a figura 8 são equivalentes aos descritos na figura 7, sendo os talhões 1, 3 e 6 os de maior significância com custos em reais apresentados, apresentando diferenças entre cenários de R\$169,34, R\$244,71, R\$826,37.

Por fim, os resultados da capacidade operacional efetiva obtidos para os cenários estão descritos na figura 9.

Figura 9 – Capacidade Operacional Efetiva.



Fonte: Autoral.

A capacidade operacional efetiva apresentou valores similares para os talhões no SSAGC, enquanto houve variância entre os valores no SSUO, manifestando dados decrescente na sequência dos talhões 1, 2 e 3.

O maior valor apresentado ocorreu no talhão 5 para ambos os cenários. A figura mostrou ainda que, em comparação, os valores foram similares no talhão 4.

Para o cenário (i), o talhão que apresentou o menor valor em capacidade, foi o talhão 3, enquanto para o cenário (ii), o de número dois.

O cenário (ii) se sobressaiu em relação ao cenário (i) para todos os tópicos analisados, ressaltando o que diz Silva et. al (2015), que resalta a eficiência do software na realização de análise de cenários possibilitando suas otimizações, sendo uma boa ferramenta de auxílio na realização da semeadura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento prévio da semeadura se mostrou eficiente quanto a avaliação da quantidade de linhas por talhão, metros totais percorridos e consumo total de combustível.

Os resultados obtidos no presente trabalho foram de considerável importância em comparação dos cenários, via software, o que ressalta a importância de se efetuar o planejamento.

Adicionalmente, constatou-se a existência de poucas publicações científicas na literatura atual acerca da temática. Sendo assim, o presente estudo pode auxiliar no desenvolvimento de futuras pesquisas nessa área envolvendo análise no campo.

REFERÊNCIAS

ArcGIS. Eris, 2023. Disponível em: <https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-online/overview>. Acesso em: 02 de julho de 2023.

AGRICULTURA DE PRECISÃO: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005, ISSN1518-4277, Versão online. Disponível em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/18887/1/Doc_46.pdf > Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

AgroCAD - Solução completa em projetos para Agricultura de Precisão. Disponível em: < <https://tecgraf.com.br/agrocad/> >. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

ALBA, Paulo J. et al. Tráfego controlado em culturas de grãos no RS: princípios, desafios e resultados preliminares1. **Revista Plantio Direto-Março/Abril**, v. 2011, p. 41.

BERTOLLO et. al. Tráfego controlado de máquinas em comparação ao aleatório no desempenho de trator em semeadura. **Revista Agrarian**, Dourados, v.12, n.46, p.479-486, 2019.

CAMARGO de, O. A.; Alleoni, L.R.F. Considerações para manejo do solo. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: < http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/C7/Index.htm >. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

CONAB. Insumos agropecuários. Disponível em: < <http://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?method=acaoCarregarConsulta> >. Acesso em: 19 janeiro. 2023.

EMBRAPA. Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira> >. Acesso em 02 jan. 2023.

GIRARDELLO, V.C.; et al. Resistência do solo a penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema de plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Revista Scientia Agrária**, p. 86-96, v. 18, 2017.

GIRARDELLO, V.C.; et al. Tráfego controlado de máquinas agrícolas: A experiência inglesa e perspectivas de adoção no Sul do Brasil. **Revista Plantio Direto**, p. 42-50, v.137-138, 2013.

GOEHL, C. M. **Semeadura de Precisão e Utilização de Tráfego Controlado em Máquinas Agrícolas: Estudo de Caso**. Tese (Mestrado em Agricultura de Precisão) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão, Santa Maria, p. 27, 2015.

IPEA. Ipeadata. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx> >. Acesso em: 19 janeiro. 2023.

MOLIN, J. P. Boletim técnico: Agricultura de Precisão: Números do Mercado Brasileiro. 3. ed. São Paulo, 2017. Disponível em: < www.agriculturadeprecisao.org.br > Acesso em: 17 de janeiro de 2023.

MOLIN, J.P; et. al. Método de Avaliação de equipamentos para direcionamento de veículos agrícolas e efeitos de sinais GNSS. **Engenharia Agrícola online**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.121-129, 2011.

NARDO, J. A. G. **Análise de Cenários Para Auxílio à Tomada de Decisão no Plantio Mecanizado de Cana-de-açúcar**. Tese (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015. p. 6-7, 2015.

RESENDE, Á. V et al. Agricultura de Precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade. In: **XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Teresina: Embrapa MeioNoroeste**. Universidade Federal do Piauí., 2010.

ROQUE, A. A. O; et al. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, 2010.

SANTI, A. L; GIOTTO, E. S. E; AMADO, T. J. C. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 1. ed. Santa Maria: CESPOL Publicações, 2016. Inclui bibliografia. ISBN978-85-92745-02-8.

SILVEIRA, F; et. al. Fuel consumption by agricultural machinery: a review of pollutant emission control Technologies. **Ciência Rural**. v. 53, n. 5, 2023.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. 2018. Disponível em: < <https://www.sosbai.com.br> >. Acesso em 18 jan. 2023.

TREIN, C. R.; et. al. Compactação do solo por rodados, podemos evitá-la. **Revista Plantio Direto**. v. 114, p. 23-34, 2009.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. Disponível em: < https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects >. Acesso em: 19 de janeiro de 2023.