

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Curso de Administração

Aluno: Flávio Henrique de Carvalho

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR E SUA APLICAÇÃO COM O
USO DA LINGUAGEM GAMS PARA O APOIO NAS DECISÕES DO
SOJICULTOR**

UBERLÂNDIA-MG
2021

FLÁVIO HENRIQUE DE CARVALHO

**MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR E SUA APLICAÇÃO COM O
USO DA LINGUAGEM GAMS PARA O APOIO NAS DECISÕES DO
SOJICULTOR**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso a ser apresentado como atividade avaliativa para a disciplina de Trabalho de Curso do curso de graduação em administração da Universidade Federal de Uberlândia.

Professor: Dr. Kléber Carlos Ribeiro Pinto.

UBERLÂNDIA-MG
2021

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. CONTEXTO DA SOJICULTURA E A SUA IMPORTÂNCIA PARA A ECONOMIA.....	6
3. SOBRE A PROGRAMAÇÃO LINEAR E O GAMS: ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	8
4. PROBLEMA DE DECISÃO DO SOJICULTOR.....	12
4.1. Recursos e custos de produção da soja.....	14
4.2. Considerações sobre fatores promotores da produtividade.....	15
4.3. Considerações sobre o problema de decisão do sojicultor e a estrutura de custos da sojicultura.....	18
5. MODELO MATEMÁTICO: O PROBLEMA DE DECISÃO DO SOJICULTOR FRENTE A ADOÇÃO DOS CENÁRIOS PRODUTIVOS.....	32
5.1 A função objetivo.....	32
5.2. O conjunto de restrições.....	35
5.3. Conclusões sobre o modelo matemático.....	40
6. APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO COM O USO DA LINGUAGEM GAMS E CONCLUSÕES.....	41
6.1. Contextualização do cenário de processamento do modelo matemático.....	41
6.2. Otimização do modelo inicial e simulações de resultados.....	42
6.2.1. Processamento básico : apenas com restrição de área.....	44
6.2.2. Processamento com restrições de área e orçamentária.....	46
6.2.3. Processamento com restrições de área, orçamentária e da quantidade de cultivares (recursos) a serem utilizadas.....	47
6.2.4. Processamento com restrições de área, orçamentária, de sementes (recursos) a serem utilizadas e de recursos hídricos através do uso de irrigação.....	49
7. ANÁLISES, CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
8. REFERÊNCIAS.....	59
9. ANEXOS.....	62
ANEXO I – Tipos de Custos.....	62
ANEXO II – Dados relacionados a Máquinas e Implementos Agrícolas.....	63
ANEXO III – Dados relacionados à Mão-de-Obra.....	71
10. APÊNDICES.....	72
APÊNDICE A – Custos de Insumos Agrícolas.....	72
APÊNDICE B – Atributos e Parâmetros dos Cenários.....	74
APÊNDICE C – Declaração de Anuência do Professor.....	81

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório são mostrados: os conceitos, procedimentos de execução, objetivos e o problema a ser resolvido para este trabalho de conclusão de curso. Este trabalho consiste em uma pesquisa exploratória, enquanto busca identificar as atividades e recursos envolvidos num ciclo produtivo de soja e as especificidades relacionadas aos processos em cada uma das etapas que vão desde o preparo do solo antes do plantio, até a colheita do grão, mas também é uma pesquisa bibliográfica, enquanto capta dados secundários para a construção de uma plataforma de custos da atividade da sojicultura. Por fim o trabalho também é aplicado, enquanto usa os conceitos e métodos da Programação Linear para construir modelos de otimização e obter solução com o recurso denominado GAMS (General Algebraic Modeling System), uma linguagem de modelagem robusta direcionada a resolver problemas lineares e não-lineares.

O trabalho foi elaborado em três etapas: a primeira, relacionada ao levantamento das operações de campo e seus custos associados, correspondendo aos recursos humanos, técnicos, financeiros e de materiais necessários para a execução de uma safra agrícola. Nessa etapa foram obtidos, via artigos científicos, dissertações de mestrado, informações de mercado via websites e respostas de e-mails enviados a fornecedores, os dados secundários relacionados ao processo de produção da soja. O levantamento referente a estes dados e custos deram-se no primeiro semestre de 2020. A segunda etapa apresenta a elaboração do modelo matemático de programação linear de maximização do lucro, que representa o problema de tomada de decisão do sojicultor. Nessa etapa coube a definição dos dezesseis cenários de possibilidades ao sojicultor, sendo que cada cenário pondera condições específicas e considera a produtividade dos fatores utilizados. A terceira e última etapa dedica à resolução das variantes dos problemas de otimização. Nessa etapa, foram obtidos os resultados ótimos para cada variante do modelo matemático e indicadas as soluções a serem utilizados pelo sojicultor.

De forma geral, este trabalho tem como objetivo formular um problema capaz de responder pela possibilidade de lucro, frente ao uso de variáveis financeiras e técnicas, representado por um modelo matemático de programação linear, que ao ser processado através da simulação de resultados diversos, com variações dos custos

produtivos, da produtividade da área e do preço de venda do produto final, fornece a solução ótima para o problema.

De forma específica, são necessários o cumprimento dos seguintes objetivos para que se possa buscar pela concepção e resolução do problema de otimização de safra:

(1) Criação de uma estrutura tabular organizada definindo as operações de campo, em que através da composição de seus recursos (insumos), permita-se ao tomador de decisões uma visão geral dos custos específicos e totalizados por hectare do ciclo de safra;

(2) Concepção de diversos cenários de custos, de acordo com expectativas e limitações financeiras de cada empreendimento. Provendo estruturas de custeio de safra interdependentes, capazes de comparar diferentes custos totalizados e produtividades média, para determinação de qual, ou quais cenários usar no processo de produção;

(3) Definição do modelo matemático para o problema de decisão no formato de problema de Programação Linear de maximização do lucro total, considerando os parâmetros de custo, as restrições ambientais, de equipamentos, de insumos e financeiras;

(4) Resolução do modelo matemático com o uso do GAMS* e simular, a partir do uso do modelo matemático construído, alterações nos parâmetros de custos, tecnologias, insumos, observando as variações dos índices de produtividade nos cenários determinados e suas consequências nos resultados;

(5) Elaboração de análise dos resultados a partir das soluções obtidas com o uso do sistema GAMS a partir dos parâmetros de entrada e das restrições impostas ao problema.

Nos capítulos que seguem serão relatados o contexto da sojicultura, tecendo as dimensões e a importância da sojicultura para a economia brasileira. Uma revisão bibliográfica sobre a Programação Linear (PL) e exemplos de aplicação da PL ao setor agro encontrado na literatura, bem como seus resultados. Sendo também tratado o problema de decisão do sojicultor especificamente, definindo-se as etapas referentes

* GAMS (General Algebraic Modeling System) é um conjunto de produtos de software comercializados em diferentes pacotes e versões, capazes de combinar a álgebra matemática com conceitos tradicionais de programação de computador, a fim de descrever e resolver de forma eficiente problemas de otimização. Criado e desenvolvido por GAMS Development Corp e GAMS Software GmbH Rosenthal (2008).

a coleta, a consolidação de dados para a formação dos dados de custos de produção da soja e o processamento do problema. Considerando neste capítulo os custos fixos e variáveis correspondentes às diferentes formas de operação do processo produtivo e a construção do modelo matemático para o problema de decisão, pressupondo para cada cenário um conjunto de práticas possíveis para o processo produtivo.

Havendo ainda um capítulo dedicado ao uso da Linguagem de Modelagem GAMS, para a resolução do problema. Em que no decorrer do capítulo o modelo matemático incorpora de forma gradual novas restrições e conseqüentemente apresenta novos resultados de lucro e de cenários para utilização, a fim de ilustrar a influência de cada imposição restritiva. Finalizando o trabalho com um capítulo dedicado às análises e conclusões a respeito dos procedimentos necessários e resultados obtidos.

2. CONTEXTO DA SOJICULTURA E A SUA IMPORTÂNCIA PARA A ECONOMIA

Segundo o estudo realizado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2020), o PIB do agronegócio brasileiro cresceu 3,81% em 2019. Uma alta importante após dois anos sucessivos de resultados pouco favoráveis ao setor, que vinha sofrendo com a diminuição relativa dos preços, representando cerca de 21,4% do PIB brasileiro total. De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2020), o segmento de insumos agrícolas e pecuários, representado principalmente pelos fornecedores de fertilizantes, inseticidas, herbicidas, percebeu um crescimento de 5,54% em 2019, sendo 6,02% para os insumos agrícolas e 4,55% para os insumos pecuários, em que a indústria de defensivos agrícolas elevou seu faturamento em 23,74% na comparação com 2018.

Os preços dos insumos agrícolas, por sua vez, avançaram principalmente em função da taxa de câmbio que, no ano de 2019, se desvalorizou em comparação com 2018. Para a indústria de fertilizantes, o crescimento do faturamento foi de 3,38%, via preços 1,85% maiores e produção 1,5% maior em 2019, frente a 2018. O aumento dos preços refletiu a desvalorização do Real frente ao Dólar (2019 versus 2018) e o encarecimento de algumas matérias-primas importantes para a produção de fertilizantes, como petróleo e gás natural. Sendo a indústria de máquinas e equipamentos agrícolas, a única que registrou faturamento com desempenho negativo

neste período. A queda de 9,84% decorreu da diminuição de 12,40% na produção, em comparação a 2018 (CNA, 2020).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a EMBRAPA, apresentou em 2020, números que colocam o Brasil como o maior produtor mundial do grão, com uma produção de 124,845 milhões de toneladas, numa área plantada de 36,950 milhões de hectares e uma produtividade média de 3.379 Quilogramas por hectare (kg/ha). Analisando ao longo das séries históricas, o setor aponta para uma tendência de crescimento, com aumento da produção e produtividade. Devido ao aumento da área cultivada e da produtividade, fator muito importante economicamente e estrategicamente para o país.

O surgimento da chamada Agricultura 4.0, termo também cunhado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2016a), aponta para um novo caminho de uma agricultura integrada a novos equipamentos, conectada a diversos tipos de dados online, atenta às novas pesquisas e produtos globalmente. A corrida pela modernização da lavoura para buscar maior concorrência em escala mundial, fez com que a produção da cultura de soja recorresse aos resultados das pesquisas científicas, principalmente às de melhoramento genético, com o uso de sementes “projetadas” para possuírem resistência a herbicidas regionalmente definidos, ao desenvolvimento de inseticidas para o manejo de pragas específicas e às adaptações das culturas ao clima de cada região, explorando os máximos potenciais de produtividade.

A preparação do solo com precisas análises da qualidade do solo auxiliou na eficiência do uso de insumos para a calagem e o plantio, e o controle da produção da lavoura contou com a melhor supervisão da evolução do plantio e propagação de pragas através de VANTs (Veículos aéreos não tripulados) ou imagens de satélite. Outro fator para a melhoria do desempenho das operações de safra foi o uso de modernas colheitadeiras orientadas por GPS e sensores postados no campo para leitura de dados meteorológicos.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016) os resultados dos estudos referentes à soja indicam que nas duas últimas décadas, o rendimento médio da produtividade teve crescimento menor comparado com a evolução da área, porém a área utilizada para o plantio deste grão foi praticamente multiplicada por dez durante o período. Registrando que o estágio atual da evolução da produtividade da soja é um fenômeno de abrangência mundial e que o grande desafio é atingir maiores

níveis de produtividade, aliando a implementação tecnológica com a viabilidade econômica e aplicabilidade comercial.

A soja está entre os maiores protagonistas das exportações agrícolas brasileiras, sendo responsável por um alto índice percentual das exportações realizadas pelo agronegócio. O complexo soja liderou de forma absoluta as exportações agrícolas brasileiras durante as décadas de 1970 e de 1980. O Brasil está chamando as atenções do mundo por causa da eficiência na produção de alimentos, cujo crescimento tem sido impressionante no correr das quatro últimas décadas, resultado do uso intensivo de tecnologias mais eficientes. O Brasil, que há algumas décadas figurava como um importador de alimentos, atualmente é o segundo maior exportador desses produtos, atrás apenas dos Estados Unidos (Embrapa, 2010).

3. SOBRE A PROGRAMAÇÃO LINEAR E O GAMS: ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

O início da atividade, assim denominada pesquisa operacional (PO), geralmente é atribuído às atividades militares nos primórdios da Segunda Guerra Mundial. Em razão do empreendimento da guerra, havia uma necessidade premente de se alocar de forma eficiente os escassos recursos para as diversas operações militares e atividades internas a cada operação. Os comandos militares convocaram grande número de cientistas para aplicar uma abordagem científica para lidar com este e outros problemas táticos e estratégicos.

Quando a guerra acabou, o sucesso da PO no empreendimento bélico despertou interesse na sua aplicação fora do ambiente militar. No início dos anos 1950, foi introduzido o emprego da PO em uma diversidade de organizações nos setores comercial, industrial e governamental. Havendo em seguida um progresso substancial em termos de melhoria das técnicas da PO, sendo um exemplo essencial o método simplex, para solução de problemas com programação linear, desenvolvido por George Dantzig em 1947. Várias ferramentas-padrão da PO, como programação linear, programação dinâmica, teoria das filas e teoria do inventário, atingiram um estado relativamente bem desenvolvido antes do final dos anos 1950.

A revolução computacional advinda nas décadas seguintes propiciou o processamento de cálculos do grande volume de dados requeridos, com o tratamento

eficiente dos problemas complexos tipicamente considerados pela PO. Portanto, o desenvolvimento de computadores eletrônicos digitais, com a capacidade de realizarem cálculos matemáticos milhares ou até mesmo milhões de vezes mais rápido que o ser humano, deu um impulso enorme à PO. A popularização de softwares e dos computadores permitiu que o emprego da PO ficasse ao alcance de um número muito maior de pessoas (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Atualmente, a pesquisa operacional também vem contribuindo nas decisões relacionadas aos processos produtivos agrícolas, podendo-se através da programação linear utilizar de modelos matemáticos capazes de buscar um lucro máximo envolvendo operações de campo, de acordo com diversas limitações financeiras e estruturais. Tal ferramenta propicia ao tomador de decisões a capacidade de poder definir uma estratégia para o processo produtivo em questão, fundindo experiência de campo, informações de dados históricos da área observada, com a aplicação de uma modelagem matemática personalizada para as variáveis produtivas definidas. Segundo Costa e Tavares (2014), descobrir a combinação dessas variáveis de maneira a reduzir o custo da produção, ou incrementar o lucro é o desafio dos gestores responsáveis por essas produções.

Dentro deste cenário, alguns estudos serviram de base para este trabalho. Tal como descrito por Costa e Tavares (2014) que utiliza para minimização dos custos com insumos agrícolas, usando programação linear. Utilizando a análise envoltória de dados (DEA), para medir a eficiência de processos, resultando na avaliação de eficiência produtiva em relação aos custos do milho safra. O modelo utilizado utilizou como dados de entrada (variáveis de inputs) a conservação do solo, b2X2 + plantio, tratos culturais, colheita, total de insumos, total de operações, fertilizantes, material plantio, herbicidas. Obtendo como resultado, variável de output, o preço final de custo da saca de milho. O DEA é conceituado por Alves (2010), como uma medida de produtividade otimizada orientada para produto, estabelecendo um nível fixo dos insumos para a tomada de decisão. Podendo assim, aumentar a confiabilidade e segurança das informações produzidas que serão base para decisões administrativas e estratégicas, pois, a DEA auxilia na identificação de unidades eficientes e assim, apoiar nas estimativas de custos da produção em geral.

Em sua dissertação Telles (2018) apresenta um modelo matemático capaz de conciliar capacidade de uso do solo, atividades de ciclo longo e recuperação de áreas

degradadas em um contexto espacial e temporal. O trabalho baseia-se no desenvolvimento de um modelo de programação matemática para maximizar o valor presente líquido de atividades florestais e agrícolas, considerando a capacidade de uso do solo das propriedades rurais. O modelo matemático utiliza funções de restrições de saldo mínimo, rotação máxima, singularidade, nulidade, capacidade de uso do solo, produção mínima, opções de recuperação, ordenamento da recuperação e reflorestamento. Através da aplicação do modelo, foi possível regularizar a produção na propriedade como um todo. Em que, as áreas produtivas foram utilizadas segundo sua capacidade de uso do solo enquanto áreas destinadas à conservação foram recuperadas ao longo do horizonte de planejamento. Podendo os resultados deste estudo reduzir o impacto da produção sob a propriedade, ao atender as demandas existentes, sem explorar ao máximo suas unidades produtivas. Desta forma, é possível a aplicação do modelo e viabilizar a recuperação de áreas degradadas em propriedades rurais independentemente da existência de políticas de pagamentos por serviços ambientais. O modelo também auxilia na transição da produção e permite o gerenciamento da propriedade por produto, saldo ou ambos.

O trabalho realizado por Santos e Silva (2017) é um caso de aplicação realizado juntamente ao produtor, validado na prática, podendo ser utilizado em variados tipos de propriedades para a suinocultura. Neste estudo fez-se o uso de um modelo para a minimização do custo da alimentação animal, em uma propriedade rural tomada como base experimental, utilizando-se de um modelo de programação linear. Em que foram experimentadas algumas possibilidades de combinação de ingredientes necessários para a composição de dietas animais, buscando pelo melhor custo/benefício entre valor nutricional e custo dos insumos. Através do uso do solver, suplemento presente no Microsoft Excel, foi possível processar diversas simulações com a minimização do custo total para a composição da melhor dieta dentre as opções.

Há ainda o estudo de caso realizado por Ruberto et al. (2012), que também apresenta o uso da programação linear relacionada a processos produtivos agrícolas. Este, visa auxiliar o processo de gestão das propriedades rurais, a partir da utilização da gestão de custos, a fim de verificar a margem de contribuição e o lucro obtido. Foram elaborados modelos matemáticos para a otimização da produção, buscando a maximização da margem de contribuição e do lucro, com a utilização dos recursos disponíveis na propriedade. Validando através da ferramenta de programação linear

a possibilidade da contribuição de forma eficiente na gestão de custos da propriedade, com resultados apontando para o aumento da lucratividade em aproximadamente 5,83%.

Tais estudos corroboram com a utilização da pesquisa operacional como ferramenta de análise de decisão. Sendo esta capaz de fornecer uma estrutura e metodologia para a tomada de decisão racional em se tratando de resultados incertos. A pesquisa operacional se faz útil em contribuir para a busca por soluções ótimas, através da “análise fria” do cálculo com os números, incorporando as diversas variáveis que se relacionam ao problema identificado. No caso deste trabalho, prima pela busca da maximização do lucro embasado em cenários de custos elaborados previamente por um tomador de decisões.

A programação linear é uma ferramenta matemática que permite selecionar, entre um conjunto de atividades viáveis, as que combinadas entre si asseguram o máximo resultado líquido, compatível com dada disponibilidade de recursos fixos. Esta técnica mostra-se versátil, sendo utilizada na solução de problemas como formulação de dieta alimentar, transporte, programação da produção, otimização de recursos hídricos, utilização de máquinas agrícolas, entre outros. (Caixeta Filho, 1997, citado por SOUZA, MACCARI, BITTENCOURT, 2008).

O método simplex é um procedimento algébrico para solucionar problemas de programação linear, que se concentra exclusivamente em soluções PEF, pontos extremos factíveis, que são os pontos limites das funções de restrições. Tratando-se de um algoritmo iterativo, ou seja, um procedimento sistemático para solução que repete uma série de etapas, chamadas de iteração, até que chegue ao resultado desejado. Em que a cada execução uma iteração se desloca da solução PEF atual para uma melhor, sempre optando por uma solução PEF adjacente a solução atual. Porém em problemas com milhares de variáveis de decisão (portanto, sem nenhum gráfico disponível), identificar uma solução PEF próxima é uma tarefa desafiante e que toma muito tempo (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

O conjunto de sistemas GAMS possui uma linguagem de modelagem (LM) orientada para a construção de complexos modelos de programação matemática, que se compreende em um compilador e vários solucionadores de modelos de Programação Linear, Programação Linear Inteira e Mista e a Programação Não Linear. Internamente seu compilador possui um algoritmo para utilização do método simplex, vários outros procedimentos algébricos para os problemas supracitados.

Através da linguagem de modelagem utilizando o GAMS é possível descrever modelos numa forma compacta através de relações algébricas e independentes dos pacotes de solucionadores a serem utilizados (PINTO, 2020).

O estudo realizado por Milan (2008) utilizou-se do sistema GAMS para processamento do modelo matemático de programação linear multiobjetivo, composto por uma função multiobjetivo, três conjuntos de restrições contábeis, sete conjuntos de restrições técnicas e dois conjuntos de variáveis endógenas. Este modelo se mostrou capaz de auxiliar no planejamento da produção da propriedade, na programação do sequenciamento de lavouras, determinando o volume ótimo de produção de cafés finos. Estabelecendo-se cenários sem restrições de forma, ou com imposição de uma renda mínima, com gasto máximo com insumos, restrições de área para colheita mecânica em detrimento de uma colheita manual com renda mínima, uma produção mínima do café cereja e uma produção total mínima. Sendo necessário diversos processamentos para cada cenário, para observação dos comportamentos dos objetivos considerados diante das modificações impostas.

4. PROBLEMA DE DECISÃO DO SOJICULTOR

Com a grande instabilidade do mercado de *commodities*, para que um produtor possa maximizar seu desempenho econômico-financeiro, torna-se primordial a gestão eficiente do negócio agropecuário, tendo como princípios fundamentais a minimização de custos, a otimização da utilização do espaço produtivo e o aumento dos níveis de produtividade. Nessa linha, as estimativas de custos e lucros associados com a produção de determinada atividade agropecuária são ferramentas essenciais para o processo decisório de curto prazo, pois permitem vislumbrar o contexto atual e avaliar a sua viabilidade econômica, conforme análise da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2010).

Segundo Alves (2010), as alternativas para uma agricultura eficiente podem fazer uso de duas alternativas estratégico-produtivas. Sendo a primeira alternativa pela otimização no sentido de diminuir a quantidade de insumos, buscando reduzir ao máximo possível para se obter uma determinada produção pré-definida. Ou pela busca por uma renda líquida máxima, dado o uso de tecnologias, de insumos variáveis, em que numa mesma área produtiva objetiva-se a máxima produção. Assim

sendo, o sojicultor consciente desses fatos, de posse dos recursos que possui e das metas produtivas desejadas, escolhe uma das opções.

O tomador de decisões precisa organizar os recursos consumidos e todas as especificidades de um ciclo produtivo, de forma quantificá-los e qualificá-los numericamente objetivando por uma gestão eficiente. Lembrando que uma atividade de campo pode fazer uso de um mesmo recurso de diferentes formas, de acordo com a qualidade que se deseja para sua execução. Utilizando-se para isto o conceito de custo operacional, conforme descrito por Martin et. al (1994) que define que os custos de produção para serem estimados devem partir da utilização de fatores de produção classificados nos seguintes grupos:

- operações agrícolas: para cada operação é definido o número de horas de trabalho gasto por categoria de mão-de-obra, trator e/ou veículos e equipamento envolvidos na operação;
- operações agrícolas efetuadas através de empreitada: envolvendo operações de manutenção, cultivo, colheita e transporte;
- materiais de consumo: constituem-se dos materiais que são utilizados no processo de produção, podendo ser próprios e/ou adquiridos pelo produtor;
- devem ser considerados os componentes de custos indiretos na produção, envolvendo obrigações sociais, seguro, encargos financeiros para capital de custeio, custo de uso da terra, outras despesas com impostos e administração e outros custos fixos com capital ou com a formação da cultura perene, quando for o caso.

De acordo com Alves (2010), há de se considerar ainda que três tipos de medidas de produtividades não-otimizadas. Em que caso os ganhos produtivos apresentados tivessem sido modelados por algum procedimento de programação matemática, estes poderiam ser maiores. As medidas de produtividade não otimizadas podem estar relacionadas a produtividade total dos fatores, a produtividade da terra e a produtividade do trabalho. Com relação à produtividade total dos fatores, estes emprestam significado àquela parcela do crescimento da produção que não pode ser explicada pelo crescimento dos insumos. Apresentando diferença entre a taxa de produção e a taxa de consumo de insumos ao longo das séries históricas. Nestes casos, as correções são complicadas de se fazer por envolverem considerável

subjetivismo e a necessidade de correção do modelo matemático para que o crescimento do dispêndio com insumos pudesse explicar o crescimento da produção. Por exemplo, os fertilizantes de hoje são mais eficientes do que os do passado.

Uma definição mais detalhada sobre a importância dos recursos no custeio do ciclo produtivo é dada nas seções 4.1 e 4.2. Detalhando mais sobre as considerações sobre a produtividade e a estrutura de custos da soja. Em seguida, a seção 4.3 apresenta o modelo matemático a ser utilizado para a maximização do lucro dentre vários cenários produtivos.

4.1. Recursos e custos de produção da soja

Na agricultura os pacotes tecnológicos são essenciais nas diversas etapas do ciclo da cultura, visando a transformação dos fatores de produção em produtos finais. Dado uma determinada cultura, por pacote tecnológico entende-se a combinação de insumos, serviços e de máquinas e implementos utilizados ao longo do processo produtivo, devidamente combinados entre si. Em que a utilização de cada pacote indica a quantidade de cada recurso em particular, por unidade de área, que resulta num determinado nível de produtividade (CONAB, 2010).

O ciclo da cultura ou safra é o tempo de vida produtiva a contar da data em que se coloca a semente ou a muda no solo até a data da última colheita para comercialização. O sucesso ou insucesso do ciclo da cultura depende do processo produtivo, que é o conjunto de eventos e ações por meio das quais os fatores de produção se transformam em produtos vegetais. O processo produtivo depende do desenvolvimento de um conjunto de atividades dentro das unidades produtivas agropecuárias, envolvendo preparo e manejo de solos, tratamentos culturais, irrigação, colheita e outras operações, observando o uso adequado de insumos em quantidade e períodos do ciclo de safra (CONAB, 2016).

Além do processo produtivo ser totalmente dependente também das condições ambientais, devendo estas serem adequadamente avaliadas antes de se implantar uma atividade agrícola. Faz parte da gestão do agronegócio a identificação de regiões com alto potencial de produção, determinando ainda onde o clima e o solo sejam adequados para uma determinada cultura. Sendo fundamental para se alcançar uma agricultura sustentável, dinâmica e altamente produtiva. Devendo ter como meta a transformação eficiente de insumos em produtos agrícolas, através da utilização de

maneira ótima do nível de tecnologia aplicada, do grau de investimento empregado, do padrão de desenvolvimento técnico agregado aos insumos produtivos e da utilização dos recursos naturais (CONAB, 2019).

4.2. Considerações sobre fatores promotores da produtividade

O sucesso do empreendimento rural requer do empreendedor rural a capacidade de gerir os recursos financeiros, os insumos para a lavoura, a disponibilidade de terra e o domínio de procedimentos e técnicas de produção.

A otimização econômica da produção de uma *commodity* agrícola requer inovação do processo produtivo e elevada escala de produção para corresponder aos altos volumes de comercialização que o mercado internacional exige.

O processo de aquisição de alguns insumos pode influenciar na renda do produtor, numa relação direta com a formação de preços. Há no mercado, fabricantes e fornecedores de insumos cuja estratégia de venda leva em conta a forte procura por insumos exigidos em pacotes tecnológicos, trabalhando com estratégias relacionadas à sazonalidade e à flutuação dos preços. A decisão dos produtores agrícolas na aquisição de fertilizantes e defensivos agrícolas, deve considerar todas as informações que indiquem momentos de baixa de preços, podendo atenuar os custos do ciclo de cultura. E o “custo em cascata” na aquisição de sementes, equipamentos e máquinas, que obrigam pela compra de algum tipo de insumo específico, que pode tornar o sojicultor “refém” de um determinado produto ou fornecedor. Os fornecedores dos insumos agrícolas têm pleno conhecimento do processo produtivo, da rentabilidade e das necessidades do produtor, o que influencia na formação de preços. O produtor é tomador de preços, uma vez que seu produto tem preço determinado unicamente pela oferta e demanda de todo o mercado (CONAB, 2016).

No cultivo da cultura da soja, os fertilizantes, corretivos e inoculantes são insumos básicos que aumentam a qualidade e o rendimento da produção agrícola, desde que empregados de forma correta. Solos férteis permitem a obtenção de elevadas produtividades sem uso de corretivos ou de fertilizantes. Contudo, cerca de 70% dos solos cultivados no Brasil apresentam uma ou mais limitações sérias de fertilidade. Vários elementos químicos são essenciais à produção vegetal, pois sem qualquer um deles, as plantas não conseguem completar o seu ciclo de vida. Sendo necessários para o crescimento das plantas os micronutrientes (ferro, zinco, boro, Manganês,

cobalto e molibdênio) e macronutrientes (nitrogênio, potássio, hidrogênio, carbono, oxigênio, cálcio, enxofre, fósforo e magnésio) que devem ser inseridos conforme deficiência da área a ser plantada (CONAB, 2016).

Em estudo de viabilidade econômica realizado na região centro-sul do Mato Grosso do Sul, que reflete uma amostra significativa da produção de soja no cerrado brasileiro. Foi constatado na safra de 2019/2020, que dentre os insumos agrícolas, os fertilizantes, as sementes, os fungicidas e os inseticidas são os principais componentes a elevarem os custos, que somados seus percentuais de custos atingem em média, 42,6% do custo total da safra. Considerando-se apenas os defensivos agrícolas (herbicidas, inseticidas e fungicidas), o impacto no custo de produção está entre 16,64% e 19,97% para alguns cultivares transgênicos e de 20,39% na soja convencional. Por sua vez, o inoculante representa apenas 0,17% (EMBRAPA, 2019).

Com relação às operações agrícolas mecanizadas, que englobam a manutenção das máquinas e dos equipamentos, o combustível e a mão de obra, estas, correspondem em média a 9,15% do custo total. Os custos administrativos considerados, que incluem assistência técnica, administração da propriedade, juros de custeio, impostos e taxas, frete, secagem e armazenagem, entre outros, impactam o total em 16,36%, em média. Já a remuneração dos fatores de produção, entendida como custo de oportunidade, caracteriza-se por não ser desembolsável. Corresponde à oportunidade que o produtor, ao planejar sua atividade, tem para decidir por arrendar sua área de lavoura ou optar por outra alternativa mais atraente. Seu custo atingiu R\$ 617,12 por hectare no referido estudo, o que representa, em média, 17,81% do custo total do ciclo da cultura de soja neste estudo realizado em 2019 (EMBRAPA, 2019).

Para Castro, Reis e Lima (2006) na teoria do custo, para efeito de planejamento, deve-se determinar o período de tempo para execução das ações, podendo ser a curto ou longo prazo. O escopo das ações que ocorrem no curto prazo é contemplado no período de uma safra, tal como o plantio e a colheita. Já as atividades que extrapolam o período de uma safra, devendo ocorrer dentro de um período maior de tempo, tal como a compra de uma colheitadeira nos próximos dois anos, fazem parte das ações de longo prazo.

Em um planejamento de curto prazo, os recursos utilizados são classificados em custos fixos e variáveis. Sendo os custos fixos aqueles que não se incorporam totalmente ao produto produzido, mas que incidem em tantos ciclos produtivos quanto

a vida útil do recurso adquirido permitir. A terra, benfeitorias, máquinas, equipamentos e alguns impostos são tidos como custos fixos. No caso da terra, o seu custo é apropriado por meio do valor de arrendamento (aluguel), ou seja, o rendimento alternativo deste fator de produção. Para os demais recursos fixos, além do custo alternativo, estima-se a depreciação apropriada pelo método linear para efeito deste trabalho.

Os custos variáveis, por sua vez, têm duração igual ou inferior ao curto prazo e incorporam-se ao produto, necessitando ser repostos a cada ciclo do processo produtivo. Pertencendo ao grupo dos custos variáveis, as despesas com sementes, adubação de plantio e cobertura (fertilizantes como fontes de fósforo, cloreto de potássio e micronutrientes), inoculantes, defensivos químicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas), mão-de-obra (permanente e temporária), serviços de terceiros, manutenção, combustível, energia elétrica, impostos variáveis e demais despesas gerais.

Segundo Silva et al. (2020), o déficit hídrico é o principal fator de quebra de produtividade da cultura da soja no Brasil. Assim, em seu trabalho objetivou-se avaliar a resposta da produtividade da cultura da soja utilizando manejos de irrigação no período chuvoso para o Cerrado. Avaliando características relacionadas ao período de semeaduras, manejos de irrigação, textura de solo e a produtividade obtida. O manejo de irrigação deve ser feito de forma correta, já que o uso irracional da água, associado com a falta de conhecimento das interações entre planta-solo-atmosfera, é a causa de insucessos em muitas lavouras, resultando em baixa eficiência produtiva. Sendo observado neste estudo que a irrigação suplementar na fase crítica da cultura resulta em maior eficiência na conversão em massa de grãos de soja para cada mm de água aplicada via irrigação, sendo a estratégia preferencial para irrigação no período de chuvas.

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) afirma que dentre os potenciais benefícios da irrigação, pode-se destacar: o aumento da produtividade da ordem de 2 a 3 vezes em relação à agricultura de sequeiro; a redução do custo unitário de produção; a utilização do solo durante todo o ano com até três safras ao ano; a utilização intensiva de máquinas, implementos e mão-de-obra; o uso do mesmo equipamento da irrigação (quimigação) para a aplicação de agroquímicos e fertilizantes; o aumento e a regularização da oferta de alimentos; a redução dos efeitos

negativos da sazonalidade climática; os preços mais favoráveis para o produtor rural devido a maior qualidade e padronização dos produtos agrícolas, e; a estabilidade na oferta de empregos.

Outro fator importante, como resultado da disseminação da irrigação é a criação de pólos econômicos de caráter agroindustrial e de serviços dedicados à agricultura, o que gera empregos e desenvolvimento tecnológico na área de irrigação (ANA & Embrapa, 2016; Mendes, 1998).

4.3. Considerações sobre o problema de decisão do sojicultor e a estrutura de custos da sojicultura

O sojicultor, frequentemente detém uma área pré-definida para as operações da lavoura, mas o como deve produzir, incorre em custos operacionais conforme o tipo de operação que ele deve decidir.

As diversas incertezas e variáveis que afetam o ciclo produtivo exigem do sojicultor, a escolha de como realizar suas operações com foco na eficiência produtiva e nos custos de produção, uma vez que o preço de venda da *commodity* não está sob seu controle. O empresário sojicultor precisa ter controle sobre os custos operacionais relativos aos variados modos de produção, por isso, conhecer o custo do ciclo produtivo é fundamental para a composição de alternativas de decisão buscando um caminho para o sucesso financeiro.

A estruturação dos custos estabelece a definição de como se dará qualitativa e quantitativamente as operações de campo dentro do ciclo produtivo. É preciso estimar os recursos e insumos a serem utilizados individualmente para cada atividade, o número mínimo e máximo de dias de duração e os rendimentos do uso dos recursos em hectares/dia. Pesam também, as condições climáticas, que interferem nos dias úteis para as operações dos equipamentos de preparação do solo, plantio, manutenção da lavoura e colheita, a carência de mão de obra especializada, que afeta a eficiência operacional e as propriedades físicas da área, sua dimensão e relevo, que influenciam no desempenho operacional e econômico da lavoura.

Castro, Reis e Lima (2006) definem que a avaliação dos custos da sojicultura está fundamentada na operacionalização dos recursos econômicos que compõem os custos fixos e variáveis. A tabela 7.1, do Anexo I exhibe de forma agrupada o conjunto

dos custos de produção agrícola, classificando-os em custos de natureza fixa e variável.

Os custos totais constituem a soma dos custos fixos e dos custos variáveis, sendo obtidos através de médias ou unitariamente, representando o custo de uma unidade do produto. Podendo ainda os custos fixos e variáveis serem decompostos em custos operacionais e alternativos (ou de oportunidade). Os operacionais constituem os valores correspondentes às depreciações e aos gastos com insumos, mão-de-obra, manutenção e despesas gerais. A soma dos custos operacionais com os custos alternativos resulta no custo econômico.

O custo operacional é composto de todos os itens de custos variáveis (despesas diretas) e a parcela dos custos fixos diretamente associada à implementação da lavoura. Difere-se do custo total apenas por não contemplar a renda dos fatores fixos, consideradas aqui como remuneração esperada sobre o capital fixo e sobre a terra. É um conceito de maior aplicação em estudos e análises com horizontes de médio prazo (CONAB, 2010).

A análise econômica passa pela receita média e pelo custo total médio estimados, e o lucro médio do empreendimento somente estará garantido se a primeira for maior que o segundo, garantindo a remuneração ao capital e do trabalho desempenhado na atividade.

Pelo lado da receita, vários fatores que afetam o preço da *commodity* e provocam instabilidade na obtenção do lucro: condições climáticas, demanda interna e externa, volume de oferta, disponibilidades de bens substitutos, custo das tecnologias de produção, que incluem genética, equipamentos e processos produtivos e políticas governamentais. Cada uma dessas incertezas contribui para a instabilidade de preços. Por outro lado, os custos, os preços dos insumos e serviços apresentam variações frequentes, exigindo levantamentos periódicos durante o ciclo produtivo.

4.3.1. Cálculo das Operações com máquinas e implementos

Segundo Silva et al. (2015), a importância do conhecimento dos custos de mecanização agrícola se dá em permitir o acompanhamento das operações e a intervenção no momento oportuno, de forma a viabilizar as atividades mecanizadas. A otimização do desempenho de sistemas agrícolas mecanizados necessariamente passa por questões de aspectos técnicos e econômicos visando um entendimento adequado entre as relações de potência disponíveis e custos operacionais. Devendo

no momento de seleção de máquinas agrícolas ser observado o mercado de cada uma, a capacidade operacional, o custo operacional, a fim da obtenção do melhor custo/benefício possível para a execução da(s) atividade(s) desejada(s).

O custo total de uma máquina ou equipamento também é composto pelos custos fixos e os custos operacionais ou variáveis. Os custos fixos são aqueles que devem ser debitados independentemente da utilização da máquina ou implemento, envolvendo os gastos indiretos ou de capital, ou seja, as despesas efetuadas sem cogitar a recuperação a curto prazo. Sendo os custos variáveis representados pelos gastos diretos que constituem toda a despesa atual e direta de uma máquina ou equipamento, também chamados de custos operacionais.

Segundo o levantamento de Silva et al. (2015) adotado neste trabalho, foram calculados quatro tipos de custos para a composição do custo fixo. Sendo eles, a depreciação da máquina ou equipamento, juros, alojamento e seguros. A equação 4.1 apresenta a forma de cálculo para o custo fixo horário através do somatório de cada um dos custos com depreciação dos equipamentos, juros pagos à terceiros, despesas com alojamento e seguros estimados por hora.

$$\text{Custo Fixo}/\text{Hr} = \text{Depreciação}/\text{Hr} + \text{Juros}/\text{Hr} + \text{Alojamento}/\text{Hr} + \text{Seguros}/\text{Hr} \quad (4.1)$$

Cada máquina e equipamento possui uma vida útil que corresponde ao espaço de tempo entre a sua compra e a rejeição do mesmo, seja esta rejeição por obsolescência ou por desgaste. A vida útil é de difícil previsão, sendo normalmente obtida por meio de pesquisas e acompanhamentos realizados, variando em função do tipo de máquina, de sua utilização e da manutenção. Devido a vida útil estabelecida a cada máquina e equipamento, incorre-se em um custo fixo que é a depreciação, que trata da desvalorização em função do tempo, seja ela utilizada ou não. Se uma máquina for pouco utilizada durante o ano, sua depreciação ocorrerá principalmente devido à obsolescência, e se for intensamente utilizada, a depreciação se dará também devido ao desgaste. A depreciação está incluída no grupo dos custos que envolvem os gastos indiretos ou de capital, ou seja, as despesas efetuadas sem cogitar a recuperação a curto prazo (SILVA et al., 2015).

O método linear propicia o cálculo da depreciação anual constante de uma máquina ou equipamento a ser analisada durante sua vida útil. Neste método o valor

de sucata (valor final da máquina em moeda, ao final de sua vida útil) depende do valor residual e do valor inicial da máquina, conforme apresentado na equação 4.2. Sendo o valor residual definido como o valor restante de um patrimônio após a sua depreciação completa, no final da sua vida útil, ou de um tempo pré-definido para o seu uso. As tabelas 7.2 e 7.3 exibidas nos Anexos II e III possuem alguns valores de vida útil e valor residual referentes a algumas máquinas e implementos agrícolas utilizados nas operações de campo, a serem utilizados para o cálculo da depreciação.

$$\text{Depreciação}/\text{Hr} = \frac{\text{VlrInicialMq} - (\text{VlrInicialMq} * \text{VlrResidual}(\text{decimal}))}{\text{VidaUtilEmHoras}} \quad (4.2)$$

A variável apresentada na equação 4.2, *VlrInicialMq*, representa o custo inicial pago pela máquina ou equipamento cuja depreciação deve ser calculada. Sendo a variável *VlrResidual* referente ao valor percentual (formato decimal) que corresponde ao custo final para venda em relação ao valor inicial de investimento.

Segundo Silva et al.(2015), os juros também devem ser considerados para o cálculo do capital utilizado na aquisição de máquinas e implementos agrícolas. Devendo ser computado à base semelhante do valor que seria obtido com os mesmos, no caso deste mesmo capital ser colocado no mercado para empréstimo. Para este caso deve-se utilizar o cálculo para juros simples, calculados sobre o capital médio investido. Observando que para o caso da tomada de capital de terceiros para aquisição do bem, o cálculo deve ser substituído pelo cálculo utilizado pelo terceiro credor. A equação 4.3 define a forma de cálculo de juros simples utilizada.

$$\text{Juros}/\text{Hr} = \frac{\text{VlrInicialMq} + (\text{VlrInicialMq} * \text{VlrResidual})}{2} * \text{TxJurosAno}(\text{dec}) \quad (4.3)$$

Além das variáveis *VlrInicialMq* e *VlrResidual* já mencionadas na equação 4.2, a equação 4.3 apresenta *NumHorasUsoDuranteAno* e *TxJurosAno*, que representam respectivamente o número de horas de uso no decorrer do ano do ativo adquirido com juros e o valor percentual (em formato decimal) da taxa de juros ao ano.

Havendo ainda outros custos fixos a serem considerados na tomada de decisão da compra de máquinas e equipamentos, sendo estes relacionados às estruturas de alojamento e referentes aos seguros. Assim, caso o tomador de decisões do custeio

de safra opte pela aquisição destes bens, deverá adicionar estes itens ao cálculo dos custos de acordo com as equações 4.4 e 4.5.

$$\text{Alojamento}/\text{Hr} = \frac{\text{VlrInicialAlojamento} * \% \text{VlrInicialCobertCustosAlojamento}}{\text{NumHorasUsoDuranteAno}} \quad (4.4)$$

$$\text{Seguro}/\text{Hr} = \frac{\text{VlrInicialMaq} * \text{Premio do Seguro} (\% \text{ do VlrInicialMaq})}{\text{NumHorasUsoDuranteAno}} \quad (4.5)$$

A equação 4.4 apresenta a variável $\% \text{VlrInicialCobertCustosAlojamento}$ referente a porcentagem do valor inicial (Vi) para cobrir os custos com alojamento (1% a.a.).

Relacionado diretamente ao uso das máquinas e implementos agrícolas, há o custo variável. Em que segundo Silva et al. (2015), este custo em termos algébricos é composto pelas variáveis dependentes da quantidade do uso que se faz de uma máquina ou equipamento. Pressupondo-se então que não havendo utilização da máquina ou equipamento, não haverá custo variável significativo. Para os cenários aqui estabelecidos, o custo variável será constituído pelo somatório dos custos com combustíveis ($\text{CustoComb}/\text{Hr}$), lubrificantes ($\text{CustoLub}/\text{Hr}$), reparos e manutenção ($\text{CustoReparosManut}/\text{Hr}$), representado numericamente por um valor em reais por horas, assim como o custo fixo.

$$\text{CustoVariavel} = \text{CustoComb}/\text{Hr} + \text{CustoLub}/\text{Hr} + \text{CustoReparosManut}/\text{Hr} \quad (4.6)$$

A definição exata dos custos com combustíveis de difícil previsibilidade, depende fortemente do tipo de operação de campo a ser realizada e por consequência, da potência gasta nesta operação. Ou seja, uma mesma máquina utilizada em uma mesma atividade, numa situação diferente, pode possuir um consumo de combustível diferente. O cálculo do custo horário de combustível é função do consumo, da potência do motor e do preço do combustível (que também pode ter uma ampla variação ao longo do período do ciclo produtivo). O total de combustível consumido também é função do fator de carga, que é a relação entre a potência requerida pela operação e a potência máxima disponível.

Além do cálculo do consumo de combustível manualmente, em função da quantidade consumida na realização de uma determinada tarefa, ao longo de um determinado período. O consumo também pode ser calculado através do uso de

tecnologias mais modernas embutidas nas máquinas, por meio de medição de consumo horário com o uso de sensores, através de indicadores aferidos e disponibilizados pelo fabricante ou por estimativas de consumo específico, a partir do histórico de consumo, o mesmo deve ser multiplicado pelo preço unitário do combustível.

Este trabalho optou por utilizar a tabela 7.4 do Anexo II, tal como apresentada no trabalho de Capello, Menten e Manarin (2010), para a determinação do consumo de combustíveis. Baseando-se numa tabela com valores médios de consumos para cada tipo de máquina relacionadas a cada atividade executada pelas mesmas. Podendo-se consultar através do equipamento e da potência informada o consumo em litros/cavalos* hectares. Para o agente tomador de decisões, o desafio da mecanização racional encontra-se no equilíbrio entre o máximo rendimento operacional da máquina aliado a segurança da operação e ao baixo custo de manutenção e de investimento no equipamento. Esse equilíbrio tende a aumentar a produtividade e a reduzir os custos.

Os custos com lubrificantes e os custos com reparos e manutenção seguem a mesma orientação dos combustíveis, baseando-se nos índices da tabela 7.4 do Anexo II. Podendo ser calculados em função do valor da máquina e preços destes insumos. Após a obtenção do custo variável em função das horas, assim como já definido para o custo fixo, obtém-se o custo total por hora da máquina ou equipamento observado.

Todos os custos com máquinas, equipamentos, insumos agrícolas, mão-de-obra devem ser convertidos em reais por hectare. Possibilitando que uma dada operação de campo ao ser orçada pelo tomador de decisões, possa ter o custo total obtido pela multiplicação de seu custo por unidade de área, pela área total a ser trabalhada. Para que o custo total por hora de cada máquina possa ser convertido para custo por hectare, necessita-se saber o rendimento da máquina. Ou seja, o valor numérico que expressa a quantidade de horas consumidas por uma máquina, para realizar uma operação específica, em um hectare da área. Podendo-se então, conforme apresentado na equação 4.7, a partir do produto do rendimento (em horas por hectare) pelo custo total por hora obter o custo total da máquina por hectare.

$$\mathbf{CustoTotal} (R\$/Ha) = \mathbf{Rendimento} (Hr/Ha) * \mathbf{CustoTotal} (R\$/Hr) \quad (4.7)$$

Na tabela 7.5 do Anexo II há alguns exemplos de operações agrícolas com seus respectivos rendimentos, totalizados em horas por hectare, para cada recurso utilizado na operação conforme estudo realizado por Martin et al. (1994). Uma forma mais eficiente de se calcular o rendimento é através de uma base histórica individual de cada máquina, ou alguma especificação técnica do próprio fabricante realizada para uma máquina e modelo específico. Considerando o número de horas que uma dada equipe, com seus respectivos equipamentos, levam para executar uma certa atividade em um hectare.

O cálculo com operações agrícolas envolvendo máquinas e equipamentos foi tratado de forma simplificada, servindo de base para este trabalho acadêmico. Sabe-se que em situações reais existem inúmeras variáveis técnicas e incertezas financeiras e naturais acerca destes conceitos. Cada atividade mecanizada é totalmente dependente das condições climáticas, de relevo, tipo de solo, uma melhor época para sua execução e outras características individuais de cada situação, que interferem diretamente na eficiência das operações. A fim de uma definição mais precisa, como os fatores de custos de consumos diversos e de desgaste dos equipamentos é importante conhecer todas estas peculiaridades, permitindo a obtenção do melhor retorno econômico.

4.3.2. Cálculo dos Custos com Mão-de-Obra, Encargos Sociais e Trabalhistas

De acordo com as legislações em vigor, o trabalhador rural é a pessoa física que presta serviço a outra pessoa física ou jurídica, para explorar atividades agroeconômicas. Independente da mão-de-obra contratada ser permanente ou temporária, será realizada diretamente ou por intermédio de prepostos (representantes), por conta própria ou por conta de terceiros, desde que realizada profissionalmente. Podendo ser caracterizado como empregado, eventual ou avulso, em que o contrato de trabalho possa ser por tempo indeterminado, temporário, por prazo determinado, por safra ou de acordo com o acordo ou convenção coletiva de trabalho (CONAB, 2010).

Para a escolha da composição de mão-de-obra deste projeto, foram consideradas as possibilidades dos diversos tipos de contratação permitidos pela legislação trabalhista. Permitindo a comparação através de diversos cenários, dos custos financeiros impostos legalmente a cada tipo. Com base nos salários, na

obrigatoriedade de determinados encargos, ou na opção de terceirização de serviços. Embora não seja objetivo deste trabalho, adverte-se que além dos custos, os fatores relacionados ao controle de qualidade e da produtividade na prestação dos serviços ofertados, também devem ser considerados. De forma que o tomador de decisões possa escolher não só pelo custo do tipo de contratação, mas também pela qualidade dos serviços prestados que podem interferir na produtividade.

A tabela 7.6 no Anexo III define os índices para a composição total do custo com um determinado tipo de contratação. Separando os índices em dois grupos distintos, os encargos e os provisionamentos de custos trabalhistas com o tipo de mão-de-obra. Sendo que os encargos devem ser pagos mensalmente por intermédio do ministério do trabalho e os provisionamentos podem incidir ao final do ano, ou do contrato, como as férias e o 13º salário. O valor percentual apresentado na tabela 7.6, representado por '*Total Encargos e Provisionamentos normais*', exhibe ao final de cada tipo de contratação o somatório de todos os provisionamentos e encargos, referente a um ou mais profissionais daquele tipo de contratação. O cálculo do custo mensal de um determinado profissional, pode ser realizado utilizando a equação 4.8.

$$\mathbf{CustoTotalMensal = Salario + (Salario * (TotalEncargos + Provisionamento))} \quad (4.8)$$

A equação 4.9 apresenta o cálculo do custo Hora/Homem, bastando para a sua execução a divisão do custo total mensal, pelo número de horas trabalhadas. Sendo estas determinadas contratualmente, ou de acordo com a legislação trabalhista (neste caso um máximo de 220 horas mensais).

$$\mathbf{Custo(Hora/Homem) = \frac{CustoTotalMensal}{QtdHorasTrabalhadasMensal}} \quad (4.9)$$

Na determinação do custo operacional de uma atividade agrícola, em que se utiliza um determinado tipo de mão-de-obra, deve-se considerar o salário adicionado dos encargos e provisionamentos, para cada profissional vinculado a mesma. Porém, em virtude das particularidades locais/regionais que envolvem o custo da mão-de-obra, que podem influenciar os salários, encargos sociais e trabalhistas, benefícios, a área explorada e produtividade modal, há de se considerar também outras possíveis

variáveis que incrementam ou decrementam este custo. Havendo ainda diferentes formas de remuneração dentro da hierarquia de cargos que vão desde os administradores, que recebem premiações por produtividade, até a mão-de-obra mais simples de campo.

De posse do cálculo do custo Hora/Homem é possível calcular o custo unitário da mão de obra à partir do custo horário, conforme apresentado na equação 4.10. De forma análoga ao cálculo do custeio das máquinas e equipamentos, o custo também deve ser convertido para reais por hectare, a fim de facilitar uma estimativa para uma dada área. A tabela 7.5 do Anexo II serve como referência base, para exibição de alguns exemplos de operações agrícolas com seus respectivos rendimentos, totalizados em horas por hectare. Conceitualmente, o rendimento refere-se ao número de horas que um determinado tipo de mão de obra consome para realizar uma dada operação de campo.

$$\text{CustoUnitMaoObra (R\$/Ha)} = \text{Rendimento (Hr/Ha)} * \text{CustoHoraHomem} \quad (4.10)$$

A determinação da natureza de cada custo com mão-de-obra, o custo salarial e os respectivos encargos sociais e trabalhistas relativos aos tratoristas e operadores de colheitadeiras e outras máquinas devem compor em sua totalidade o cálculo da hora/máquina, cujo registro será no custo variável. O administrador e outros empregados que não estão relacionados diretamente com a produção, inclusos os encargos sociais de seus salários, serão registrados no custo fixo. A retirada pró-labore é entendida como despesa administrativa e não será admitida nos custos de produção, uma vez que esse tipo de gasto tem como base o lucro bruto da atividade (CONAB, 2010).

4.3.3. Cálculo dos Custos Sementes, Fertilizantes e Defensivos Agrícolas.

Conforme definição da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2016), o sucesso da lavoura de soja depende de diversos fatores, mas sem dúvida, o mais importante deles é a utilização de sementes(cultivares) de elevada qualidade, que geram plantas de alto vigor, na obtenção de um desempenho superior no campo. Uma melhor qualidade das sementes permite avanços genéticos, garantias de qualidade e tecnologias de adaptação nas diversas regiões, além de assegurar

maiores produtividades. Além disso, é essencial uma semeadura utilizando semeadoras de alta precisão, para uma melhor distribuição das sementes, permitindo plantas bem espaçadas sem aglomerações ou falhas.

Os defensivos agrícolas, também conhecidos como agrotóxicos e afins são produtos cuja aplicação em cultivos serve para o controlar pragas (principalmente insetos), prevenir doenças causadas por micro-organismos e impedir o crescimento de outras plantas que não sejam as do cultivo (também consideradas pragas). De maneira geral, os defensivos podem ser classificados em inseticidas (controle de insetos, inclusive os vetores de doenças causadas por vírus), fungicidas (controle de doenças causadas por fungos), herbicidas (controle de plantas daninhas), acaricidas (controle de ácaros), nematicidas (controle de nematóides) e bactericidas (controle de doenças causadas por bactérias). Estes, combinados entre si, em diferentes quantidades, de diferentes fabricantes e modos de uso é que juntamente as sementes (cultivares) compõem os pacotes tecnológicos (CONAB, 2017).

Conforme já mencionado, os preços dos insumos agrícolas representam a maior parte do percentual dos custos produtivos e são essenciais na tomada de decisão do que plantar e o quanto investir nas diversas possibilidades de manejo da lavoura. A definição dos melhores pacotes tecnológicos a serem adquiridos para uma área, de acordo com características de adaptabilidade, rentabilidade, produtividade é tema de pesquisa acadêmica e de diversos representantes da indústria, não fazendo parte do escopo deste projeto. Sendo uma das atribuições fundamentais do tomador de decisões, decidir entre dadas condições orçamentárias, realizar a melhor escolha por um conjunto de insumos que proporcione uma produtividade tal que a relação entre custo e receitas o leve à máxima lucratividade. Neste trabalho, não há preocupação com aspectos técnicos relacionados aos instrumentos que deverão ser empregados no campo, uma vez que os custos com insumos são calculados utilizando dados reais de mercado e a produtividade é baseada em dados históricos sob poder do sojicultor ou de pesquisa científica. Então, o custo de produção e a produtividade são dados previamente conhecidos.

Para a definição do custo por hectare de cada insumo agrícola, ou seja, das sementes, fertilizantes e defensivos agrícolas, foram levantados os preços de venda em diversos fornecedores encontrados online no primeiro semestre de 2020. Acredita-se que os valores obtidos para este levantamento sejam diferentes das possibilidades

reais que os produtores possam negociar na prática, com compras em maiores volumes e de fornecedores diferenciados. Assim sendo, alguns preços de insumos agrícolas pesquisados encontram-se na tabela 8.1 de insumos agrícolas categorizados pelo tipo (combustíveis, sementes, herbicidas, fungicidas), com definição dos custos unitários e por hectares, conforme apresentado no Apêndice A.

Cada insumo agrícola é vendido através de uma determinada unidade de medida, litros, quilogramas, toneladas, entre outras possibilidades. O custo por hectare é calculado a partir do custo unitário de cada insumo, obtido através da unidade de medida e da quantidade recomendada de uso do insumo por hectare.

$$\text{Custo Unit. (R\$)} = \frac{\text{Valor de uma Unid. Medida (R\$)}}{\text{Qtd. Vendida (Unid. Medida)}} \quad (4.11)$$

$$\text{Custo por Hectare (R\$)} = \text{Qtd. Recomendada por Hectare} * \text{Custo Unit (R\$)} \quad (4.12)$$

Cada fornecedor de insumo agrícola e também alguns órgãos institucionais voltados para a agricultura, possuem serviços de informações aos produtores rurais sobre o uso dos defensivos agrícolas, da aplicação dos fertilizantes e do plantio das sementes. A variável *Qtd. Recomendada por Hectare* define a dosagem a ser aplicada por hectare, sendo encontrada nas indicações de uso de cada insumo. Outras informações técnicas a respeito de cada insumo tais como a forma de utilização do produto, período de utilização e fase do plantio a ser aplicado, também constam nas respectivas indicações de uso. Utilizando-se neste trabalho a variável *Qtd. Recomendada por Hectare* para a determinação do quanto será consumido de um dado insumo agrícola, numa dada operação de campo por hectare.

O conhecimento a respeito das utilizações dos pacotes tecnológicos, que é vasto é necessário ao sojicultor. O gestor precisa conhecer os insumos substitutos e seus coeficientes técnicos e decidir entre diferentes composições de tecnologias de produção. A coleta de preços de produtos substitutos é essencial, pois, na hipótese de retirada de um item do mercado, pelo fabricante, o gestor das operações da lavoura precisa conhecer as vantagens técnicas, operacionais e financeiras da substituição, por isso, ele precisa estimar o custo de produção a partir dos preços e desempenhos dos recursos a serem usados.

4.3.4. Custos com as despesas com irrigação em um caso específico

O método de irrigação geralmente utilizado no plantio de soja é por aspersão, sendo este o método de aplicação de água às plantas em forma de chuva artificial, por meio de dispositivos especiais (aspersores), abastecidos com água sob pressão. A legislação básica que institui uma Política Nacional de Recursos Hídricos define que o uso da água pode ser cobrado no momento da emissão da outorga, na sua captação, consumo, lançamento de efluentes e outro uso que altere o regime. Podendo a cobrança ser de competência da agência de águas e/ou comitês de bacia nos rios estaduais e municipais, ou ainda, podendo delegar competência a uma unidade descentralizada (CONAB, 2010).

O custo da obtenção da água para a irrigação depende das regras estatais de regularização do uso da água, conforme o Plano de Recursos Hídricos do Órgão competente. O custo da água tem relação direta com as variáveis que caracterizam a utilização de determinado método de irrigação, seus componentes e o tipo de uso da água, por isso, torna-se necessário ter acesso às informações técnicas, para que o cálculo do custo possa ser realizado, o que depende fatores regionais (CONAB, 2010).

Em caso de haver cobrança da água pelo Órgão estatal correspondente, o cálculo deve ser a soma dos custos com a outorga, a captação, o consumo e os efluentes, dividido pela produtividade da cultura. No caso de não-pagamento do uso da água pelos produtores, o custo de produção deve registrar apenas o gasto com o conjunto de motobomba e/ou motores utilizados (hora/máquina), depreciação, manutenção, seguro e remuneração do investimento no conjunto de irrigação (CONAB, 2010). Em que tais custos seguem a mesma lógica de cálculo utilizada nos custos com máquinas e equipamentos.

No estudo apresentado por Rapassi et al. (2017) à respeito da viabilidade econômica da implantação de irrigação com o uso de pivô central, foram analisados os investimentos necessários para implantação de um conjunto de irrigação do tipo pivô central para produção de grãos (feijão, milho e soja) no Mato Grosso Do Sul. Constatando que os investimentos em equipamentos de irrigação são de alto custo, devendo sua utilização ser muito bem planejada, principalmente em termos de épocas e alternativas de produção. Por outro lado, fertirrigação, aplicação de fertilizantes através da água da irrigação, pode reduzir os custos com a utilização de máquinas.

A fim de realizar análise econômica do caso estudado, os autores observaram que o sistema de cultivo implantado pelo produtor realizou uma produção de três safras em um ano (soja a partir de setembro, milho em fevereiro e feijão, a partir de junho) e no outro ano duas safras (5 safras em dois anos). Também consideraram todos os custos com operações mecanizadas, operações manuais e insumos agrícolas consumidos, além do acréscimo das depreciações, outras despesas e juros de custeio. Foram utilizadas as técnicas de avaliação de alternativas de investimentos, Valor Presente Líquido (VPL), o método da Taxa Interna de Retorno (TIR) e o método do Valor Anual Equivalente (VAE) ou Valor Uniforme Líquido.

Em tal estudo, para uma área de 123,42 hectares, o custo com a implantação do conjunto de irrigação e sua instalação foi de R\$ 835.100,00, ou seja, R\$ 6.766,33/ha. Onde a aquisição e a montagem do conjunto de equipamentos atingiram R\$ 648.000,00, que corresponde a quase 78% do investimento total. Tais valores foram adicionados às despesas com a extensão da rede elétrica (800 metros) e aquisição de transformador, o que correspondeu a quase 19% do total. A depreciação anual de R\$ 41.755,00 foi estimada considerando vida útil média de 15 anos, o que corresponde a um valor de R\$ 338,32/ha. Sendo também necessários investimentos no preparo inicial e na correção (aquisição e aplicação de calcário e gesso) do solo, o que resultou em um gasto de R\$ 104.879,00 para 123,42 ha, ou seja, R\$ 849,77/ha.

Os resultados da viabilidade econômica da implantação da irrigação na produção de grãos na área plantada apresentou um valor presente líquido (VPL) foi de R\$ 1.841.184,07, considerando uma taxa de desconto de 6,0% a.a. Uma taxa interna de retorno (TIR) de 37,98%, cujo valor é maior que a taxa de desconto, com um menor risco, e recuperação do capital investido no terceiro ano. Com a apresentação de um lucro anual de R\$ 250.157,92, para a implantação do projeto.

Rapassi et al. (2017) então concluem diante dos resultados do estudo que embora o investimento seja alto, não só na implantação do conjunto de irrigação e no investimento inicial com o preparo e correção do solo, mas também com a produção de feijão, milho e soja irrigados que elevam os custos de produção. Havendo também aumento com os custos referentes aos insumos agrícolas consumidos, sobretudo as despesas com fertilizantes e com a colheita. Porém obteve-se viabilidade econômica na implantação de um conjunto de irrigação tipo pivô central para a produção de grãos.

4.3.5. Custos com despesas administrativas, Mão-de-obra Indireta e outras despesas

As despesas administrativas representam os gastos, pagos ou incorridos, para gestão do empreendimento rural, que não estão ligados à produção, cujo registro se dá em outras despesas como custo variável. Referem-se aos gastos de energia elétrica do imóvel, telefone, serviços de contador, rádio comunicador, material de consumo, computador, internet, veículo de passeio e combustível, assinatura de revistas e jornais, capacitação, que estão ligados ao processo produtivo (CONAB, 2010).

Cada uma das despesas administrativas utilizou-se do método de rateio entre as diversas operações agrícolas dentro de uma safra, de igual forma e conforme seu tipo. Segundo Martins (2003), o rateio pode ser entendido como alocação dos custos de forma altamente arbitrária e subjetiva, como os custos dos departamentos de produção para os produtos, com a inclusão dos custos que não se relacionam diretamente com a produção, tal como as despesas administrativas. O rateio é realizado apenas quando não há a possibilidade de utilizar nem a alocação direta nem o rastreamento.

A alocação direta se faz quando existe uma identificação clara, direta e objetiva de certos itens de custos com certas atividades. O rastreamento é uma alocação com base na identificação da relação de causa e efeito entre a ocorrência da atividade e a geração dos custos, sendo expressa através de direcionadores de custos de recursos para as atividades (MARTINS, 2003).

Segundo a CONAB (2010), os custos com despesas administrativas giram em torno de 3%, não sendo significativa do ponto de vista deste trabalho, a fim de incorrer na utilização da alocação direta, ou rastreamento. Despesas que não tenham relação com a produção poderão ocorrer tais como, como pagamento de contribuição a entidades representativas dos produtores, de processo de regularização ambiental e de renovação da licença ambiental, além de outras, poderão ser adicionadas ao custo total da safra. Devendo tais custos serem somados ao longo dos meses de safra e divididos proporcionalmente ao tamanho da área em hectares.

5. MODELO MATEMÁTICO: O PROBLEMA DE DECISÃO DO SOJICULTOR FRENTE A ADOÇÃO DOS CENÁRIOS PRODUTIVOS

Hillier e Lieberman (2013) afirmam que à medida que a complexidade e a especialização tornam cada vez mais difícil alocar os recursos disponíveis para as diversas atividades de maneira mais eficiente para toda a organização, torna-se necessário encontrar o melhor caminho para estes tipos de problemas. Podendo ser criadas as condições necessárias para o emprego da Pesquisa Operacional, quando, através de um modelo matemático, o problema de negócios possa ser descrito com expressões matemáticas.

As empresas que optaram pelo uso da pesquisa operacional, a fim de otimizar seus processos operacionais. Tal como o estudo de caso da Citgo, com cerca de 3.000 restrições funcionais e 15.000 variáveis de decisão. Havendo modelos de programação linear na vida prática que chegam a centenas ou milhares de restrições funcionais. Tornando-se necessário nestes cenários a utilização de supercomputadores ou de clusters para tais processamentos, uma equipe de profissionais especializados, assim como a utilização de softwares especializados concebidos e personalizados para tais finalidades, segundo Hillier e Lieberman (2013). Evidenciando ainda mais o caráter acadêmico na resolução do problema proposto, levantado por este trabalho.

5.1 A função objetivo

Neste trabalho, o modelo matemático de programação linear apresentado visa representar o problema de tomada de decisão do sojicultor sobre como conduzir a produção de grãos frente a diferentes possibilidades operacionais para realizar o ciclo produtivo. Definindo como cenário, um quadro de custeio para cada alternativa de operação da safra, tal que, o sojicultor possa, diante de um conjunto de restrições, escolher um ou mais cenários para alcançar a maximização do lucro. Em que cada cenário é composto pelos custos das atividades incorridas ao longo do período de safra, sendo o fator produtividade também considerado para estimar o lucro esperado para cada cenário. O modelo matemático, ao ser resolvido com o uso dos métodos de otimização da Programação Linear, através do recurso GAMS, indicará qual, ou quais

dos cenários devem ser utilizados para que o produtor alcance a maximização dos resultados financeiros.

As variáveis de decisão do modelo, x_i , são as quantidades de hectares a serem plantados em cada cenário 'i'.

Os cenários possíveis para a produção da soja são resultantes das combinações de uso de diferentes processos e recursos, cada um deles com seu custo por hectare. Com relação aos processos de plantio foram consideradas o Sistema de Plantio Direto (SPD), quando a interferência de equipamentos pesados na preparação do solo é mínima, e o Sistema Convencional de Preparo de Solo (SCPS), em que algum processo de aração ou gradagem do solo é usado, requerendo equipamentos pesados com intensidade.

Quanto à alimentação hídrica do solo, são consideradas quatro alternativas, uma sem irrigação artificial e as outras três, com irrigação artificial, cada uma dessas com seus tipos específicos de maquinários de irrigação. A respeito das sementes(cultivares), foram consideradas duas alternativas, as convencionais e as transgênicas.

A partir das combinações desses processos levou à consideração de dezesseis cenários possíveis de operação, entretanto, outros cenários poderiam ser criados, considerando diferentes tipos de fertilizantes e de defensivos agrícolas, conforme apresentado na *Figura 1*.

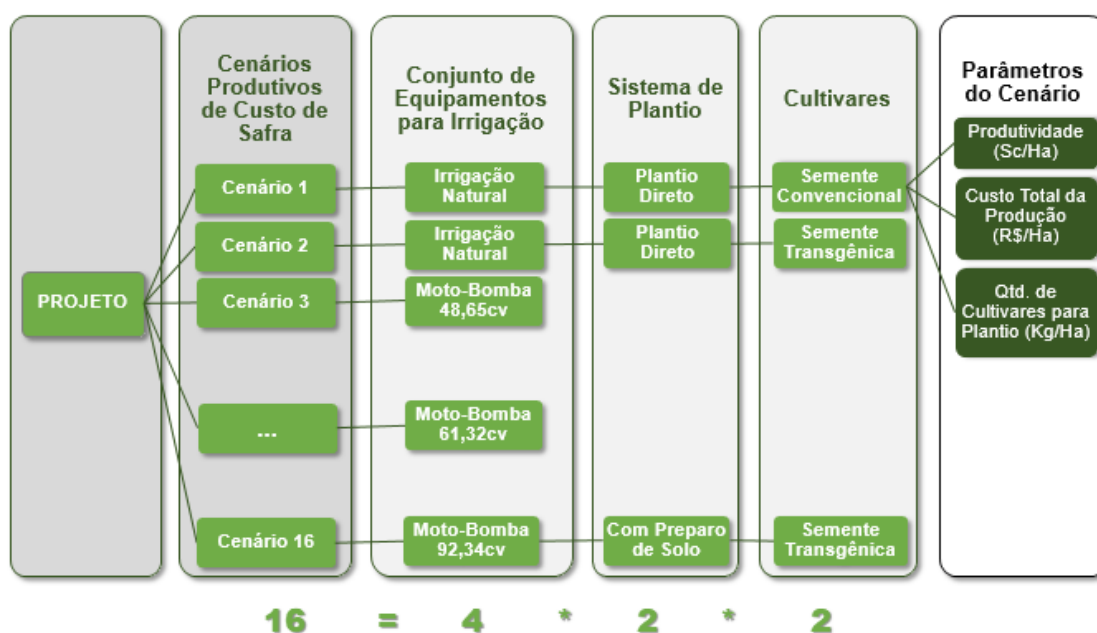


Figura 1: Composição dos cenários de custos do projeto.

A tabela 8.2 do Apêndice B contém a descrição de cada cenário, com a combinação das diferentes variações de uso operacional em cada uma. Assim como o custo total (R\$/Ha) e a sua produtividade em sacas por hectare. Os valores apresentados para compor o custo total por hectare e a produtividade de cada cenário foram calculados embasados em estimativas de preços ao longo de 2020 e baseados em dados obtidos dos trabalhos de Kaneko et. al (2010) e Alves Júnior et. al (2020).

O lucro por hectare para os dezesseis cenários é resultante da diferença entre receita e o custo total, representando o coeficiente da variável de decisão. A receita é o produto da produtividade correspondente ao cenário 'i', medida em quantidade esperada de sacas a obter por hectare para cada cenário "i", pelo preço pago por saca para a *commodity* soja. Sendo o custo o somatório de todos os custos incorridos com insumos, recursos e serviços correspondentes ao cenário, conforme apresentado na tabela 8.2 do Apêndice B. Assim, a função objetivo é definida conforme a equação 5.1.

$$\sum_{i=1}^{16} ((\text{produtividade de } i * \text{preço saca}) - \text{custo total por Ha}) * X_i = Z \rightarrow \max \quad (5.1)$$

Existem alguns serviços em plataformas online para a busca do preço diário referente aos valores de *commodities* no mercado mundial. Embora hajam constantes oscilações de preços devido a diversos fatores que regem o mercado global e nacional, no decorrer deste trabalho foi utilizado o valor de R\$ 118,22 para o preço da saca de soja, conforme apresentado pelo serviço da ESALQ/CEPEA em seu portal no decorrer do ano de 2020.

Dessa forma, obteve-se a seguinte função objetivo conforme a equação 5.2.

$$\begin{aligned} & (1886,44 * X1) + (2038,5 * X2) + (3744,98 * X3) + (5336,6 * X4) \\ & + (5775,58 * X5) + (4021,17 * X6) + (4607,93 * X7) \\ & + (5726,67 * X8) + (2131,56 * X10) + (4068,05 * X11) \\ & + (4595,7 * X12) + (5655,34 * X13) + (4220,63 * X14) \\ & + (5073,38 * X15) + (5689,69 * X16) = Z \rightarrow \max \end{aligned} \quad (5.2)$$

5.2. O conjunto de restrições

5.2.1. A restrição de área

A área total disponível para o cultivo de soja na propriedade deste projeto é de 1000 hectares, podendo-se fazer uso de irrigação artificial. Neste caso, podem ser instalados um ou mais pivôs centrais ao longo da área, em que cada um cubra uma área de 80,28 hectares. Em que tal extensão baseia-se no trabalho realizado por Alves Júnior (2018), em que um cenário de safra de soja serve como base para este trabalho, não sendo apenas a área de cobertura do pivô aqui utilizada, mas também características relacionadas aos equipamentos (motobombas, lâminas de água) que respaldam tecnicamente os cenários irrigados deste trabalho. O capítulo 4 apresenta com mais detalhes outros dimensionamentos de conjuntos de equipamentos para pivôs, que foram arbitrados com valores acrescidos a fim de simular cenários mais diversificados.

Há de se considerar que a implantação de irrigação artificial é opcional e que caso seja implantado um pivô ou mais pivôs de aspersão, o restante da área pode ser utilizado sem o uso de irrigação. Uma vez que a variável de decisão X_i representa a quantidade de hectares de cada um das dezesseis possibilidades de cenários produtivos. A função de restrição que representa a área a ser produzida é representada pela função 5.3.

$$(X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8 + X9 + X10 + X11 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 \leq 1000) \quad (5.3)$$

5.2.2. Restrição orçamentária

Para este trabalho foi arbitrado um orçamento máximo para o custeio da safra de R\$ 3.500.000,00, a fim de simular uma restrição de custos, que na prática reflete a capacidade ou interesse de investimento que uma determinada organização possui em detrimento de uma dada produtividade, uma vez que os recursos são limitados. Embora este valor tenha sido arbitrado, não se trata de um valor aleatório, uma vez que representa uma estimativa média arredondada dos custos totais por hectares de cada cenário. Tendo sido calculado para os dezesseis cenários custos que variam de R\$ 2.996,05 à R\$ 3.945,24 por hectare, conforme apresentado na tabela 8.1 do Apêndice B.

Esta mesma tabela apresenta cada coeficiente na função de restrição 5.4, representando a soma dos custos, de todas as atividades e seus respectivos insumos e serviços consumidos para cada cenário. O custo total de um cenário de custeio de safra pode ser obtido através do produto dos custos unitários por hectare de cada insumo usado pelas atividades e serviços, multiplicados pelas respectivas quantidades utilizadas ao longo de todo ciclo produtivo. Devendo ser considerados para estes cálculos, os campos de consumos em horas e seus respectivos rendimentos em horas por hectares das tabelas 7.4 e 7.5 do Anexo II, juntamente aos outros custos incorridos como mão de obra e outros já mencionados na seção 4.3. Ressaltando que qualquer mudança no custo financeiro de um insumo utilizado, afeta todo o custo do cenário.

$$\begin{aligned}
 & (2996,05 * X1) + (3104,07 * X2) + (3496 * X3) + (3589,01 * X4) \\
 & \quad + (3682,02 * X5) + (3604,02 * X6) + (3697,03 * X7) \\
 & \quad + (3790,04 * X8) + (3145,85 * X9) + (3259,27 * X10) \\
 & \quad + (3645,8 * X11) + (3738,81 * X12) + (3831,82 * X13) \\
 & \quad + (3759,22 * X14) + (3852,23 * X15) + (3945,24 * X16) \\
 & \leq 3500000
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

No capítulo 6 serão utilizados diversos processamentos do modelo matemático com a utilização do GAMS para a busca do lucro máximo com a otimização do modelo. A fim de prover ao tomador de decisões a capacidade de buscar por cenários mais ou menos lucrativos, para efeitos de simulações este valor orçamentário pode ser alterado, visando observar o seu efeito sobre alguma variável do modelo matemático e o resultado final.

5.2.3 Restrição referentes à disponibilidade de cultivares

Podem haver situações similares às que acontecem em cenários reais, onde o produtor encontre uma determinada dificuldade em plantar um determinado cultivar. Podendo tal limitação ser devido a falta de um dado cultivar no mercado no momento da compra, ou um aumento repentino do preço de custo que inviabiliza sua aquisição, ou mesmo um problema relacionado a qualidade da semente no ato do plantio. Qualquer destas situações podem limitar o uso do insumo, devendo ser expressas no modelo matemático.

Visando simular estes tipos de situações, este modelo matemático provê uma oferta limitada dos dois tipos de cultivares, convencionais e transgênicos de um determinado fornecedor. Algebricamente representado por uma função de restrição que busca limitar a quantidade total de cada um dos cultivares. Em que propositadamente nenhum dos cenários podem ser semeados com apenas um dos tipos para toda a área disponível de 1000 hectares. A coluna *Qtd. de cultivares para Plantio (Kg/Ha)* da tabela 8.2, do Apêndice B, apresenta um valor de rendimento para cultivares convencionais e transgênicos, em que para cada um dos tipos disponíveis são necessários respectivamente 35,5 Kg e 45,5 Kg para se plantar um hectare, por consequência 35.500 Kg e 45.500 Kg respectivamente, para plantar toda a área com apenas um destes cultivares

Para efeito de exemplificação, de forma que o modelo matemático possa efetivamente restringir o plantio. Arbitrando um limite máximo de 30.000 Kg para a semeadura com cultivares convencionais e 25.000 Kg com cultivares transgênicos, inviabiliza-se a intenção de plantar toda a área disponível de 1000 hectares com apenas um destes tipos de cultivares. As funções 5.5 e 5.6 definem estas restrições para os cultivares.

$$(35,5 * X1) + (35,5 * X3) + (35,5 * X4) + (35,5 * X5) + (35,5 * X9) + (35,5 * X11) + (35,5 * X12) + (35,5 * X13) \leq 30000 \quad (5.5)$$

$$(45,5 * X2) + (45,5 * X6) + (45,5 * X7) + (45,5 * X8) + (45,5 * X10) + (45,5 * X14) + (45,5 * X15) + (45,5 * X16) \leq 25000 \quad (5.6)$$

Observando as funções de restrições 5.5 e 5.6, observa-se que a primeira apresenta apenas as variáveis de decisão dos cenários de custos produtivos de safra que foram plantados com as sementes convencionais ($x_1, x_3, x_4, x_5, x_9, x_{11}, x_{12}$ e x_{13}), assim como a segunda função de restrição exibe apenas os cenários plantados com cultivares transgênicos ($x_2, x_6, x_7, x_8, x_{10}, x_{14}, x_{15}$ e x_{16}). As mesmas funções poderiam apresentar as variáveis de decisão acompanhadas do índice zero para os cenários com sementes diferentes da que foi plantada. Porém, para efeito de simplificação, exibe-se o modelo de forma mais condensada.

5.2.4. Restrições para cenários com Irrigação

Com relação às funções de restrições relacionadas à irrigação, deve-se considerar os conjuntos de equipamentos adquiridos, a quantidade de água disponível e a quantidade outorgada pelos órgãos responsáveis pelo uso da água. Tornando-se necessário a definição da necessidade hídrica total de água (litros/ha) para o crescimento das plantas, representada pela variável *NecessidadeHidr* na equação 5.7, considerando os dias que necessitarão ser irrigados no decorrer do ciclo. Cujos cálculos devem considerar as duas estimativas, o número total de dias do ciclo produtivo (*NumTotalDiasCiclo*) e o número total de dias necessários de irrigação durante este período (*NumDiasNeclIrrigacao*). Além da definição de necessidade de água para o desenvolvimento da planta (*QtdAguaNecessaria*), que conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2007), para obtenção de um rendimento máximo são necessários de 450 a 800 milímetros de água durante todo o ciclo. Sendo arbitrado um valor médio de 700 milímetros de água, assumindo serem suficientes para o manejo da cultura nestes cenários.

$$NecessidadeHidr = \left(\frac{QtdAguaNecessaria}{0,0001} \right) \cdot \frac{NumDiasNeclIrrigacao}{NumTotalDiasCiclo} \quad (5.7)$$

Na equação 5.7, o valor 0,0001 serve para conversão da quantidade de água em milímetros de chuva para litros/hectare, uma vez que 1ha tem 10.000 metros quadrados. O valor da conversão (litros/ha) dividido pelo *NumTotalDiasCiclo*, retorna à quantidade de água necessária para um dia, para um hectare (litros/ha), que multiplicado pelo número de dias que serão necessários irrigar toda a área resulta na necessidade hídrica total em litros/ha. A tabela 8.3 do Apêndice B apresenta para cada cenário uma estimativa do número total de dias da safra e o número total de dias necessários de irrigação durante este período.

Havendo calculado a necessidade hídrica ao longo do ciclo, ou seja, a demanda de água necessária em litros por hectare para um rendimento máximo produtivo. Torna-se necessário o cálculo da disponibilidade dos equipamentos em ofertar a quantidade de água demandada. Havendo três conjuntos de equipamentos para irrigação utilizados nos cenários de custos produtivos de safra, conforme o estudo

apresentado por Alves Júnior (2018). Possuindo o primeiro um conjunto de equipamentos como características, motobomba 48,65cv, lâmina de irrigação de 200 mm/ciclo, com uma vazão projetada de 217,35 m³/hora. O segundo um conjunto de equipamentos possui motobomba 61,32cv, lâmina de irrigação de 238 mm/ciclo, com uma vazão projetada de 258,12 m³/hora. E o terceiro um conjunto de equipamentos que possui um motobomba 92,34cv, lâmina de irrigação de 354 mm/ciclo, com uma vazão projetada de 384,68 m³/hora.

Os três conjuntos de equipamentos executam 21 horas de trabalho ao longo de um dia. Demorando em média 12,5, 13,5 e 14,5 horas para dar uma volta completa irrigando toda a área sob o pivô, 80,28, 90,28 e 120,28 hectares respectivamente. A equação 5.8 serve para determinação do cálculo do número total de litros de água de acordo com a vazão projetada de cada equipamento.

VazaoTotalEquipNoCiclo

$$\begin{aligned}
 &= ((\mathbf{VazaoProjetadaEquip}/1000) * (\mathbf{NumHorasVoltaComple} \\
 &* (\mathbf{NumHorasFuncionamPivo}/\mathbf{NumHorasVoltaCompleta})) \quad (5.8) \\
 &* \mathbf{NumDiasNeIrrigação})
 \end{aligned}$$

Na sequência dos cálculos necessários para implementação das funções restritivas de irrigação, após a definição da necessidade hídrica (litros/ha) e da vazão total projetada por equipamento em litros é possível a definição da função de restrição para demanda hídrica para rendimento máximo da produtividade de crescimento das plantas (necessidade hídrica em litros por hectare), em função da disponibilidade dos equipamentos. A função 5.9 restringe para cada cenário k (1 -> 16) sua necessidade hídrica, conforme a vazão do equipamento empregado e quantidade de pivôs à serem utilizados na área.

$$\sum_{k=1}^{16} (\mathbf{NecessidadeHidr}) * \mathbf{xi} \leq \mathbf{VazaoTotalEquipNoCiclo} * \mathbf{QtdPivosArea} \quad (5.9)$$

A tabela 8.4 do Apêndice B exibe as funções de restrições para cada cenário relacionando as necessidades hídricas para rendimento máximo de produtividade, em função da disponibilidade dos equipamentos em irrigar a área. Observando que no caso de não haver um número de pivôs centrais definidos para um dado cenário, o

lado direito da desigualdade da função fica zerado. Podendo as funções de restrições que não possuem pivôs centrais serem entendidas como cenários que não serão utilizados.

Para cada cenário também deve ser definido um conjunto de funções de restrição voltadas para a irrigação, de forma a limitar o uso da água não pela capacidade dos equipamentos, mas pelas regras legais que dizem respeito à quantidade de água de outorgada. Neste caso, a função de restrição para demanda hídrica para rendimento máximo da produtividade de crescimento das plantas (necessidade hídrica em litros por hectare), em função da quantidade de água permitida para todo o ciclo produtivo em litros, conforme a definição para a função 5.10.

$$\sum_{k=1}^{16} (\text{NecessidadeHidr}) * xi \leq \text{QtdOutorgadaParaUso} \quad (5.10)$$

A tabela 8.5 do Apêndice B apresenta de forma tabular as funções de restrições em função da outorga para cada cenário. Com a finalidade de realizar os cálculos através do processamento matemático do modelo, foi utilizado o valor de 10.000.000 de litros de águas para a quantidade outorgada para uso no decorrer de toda safra.

5.3. Conclusões sobre o modelo matemático

O modelo matemático possui uma função objetivo para maximização do lucro, além das suas funções de restrições. Sendo apresentado neste capítulo, uma função para a restrição de área, uma função para restrição orçamentária, duas funções que delimitam a quantidade de cultivares convencionais e transgênicos à serem semeados, dezesseis funções de restrições (uma para cada cenário) para limitação da necessidade hídrica frente a vazão produzida pelos conjuntos de equipamentos adquiridos e mais dezesseis funções de restrições que delimitam a necessidade hídrica em função da outorga concedida pelos órgãos pertinentes. Totalizando trinta e seis funções de restrições, que visam a simulação de adversidades e problemas de ordem financeira, técnicas e administrativas do cotidiano do tomador de decisões.

Em alguns cenários reais, podem haver a necessidade de se restringir à disponibilidade de outros recursos, tais como a quantidade de um determinado fertilizante, ou horas de uso de uma máquina, ou um determinado tipo de mão de obra,

ou mesmo diferentes níveis de produtividade ao longo da área, caracterizando uma limitação para o cenário ideal de produção. Devendo estas limitações serem tratadas algebricamente, com a elaboração de uma função restritiva para cada fator limitante, em cada um dos cenários que se fazem necessário a utilização da mesma. De forma a modelar uma função restritiva, em que o lado esquerdo apresenta uma demanda produtiva para cada cenário, devendo ser menor ou igual a quantidade disponibilizada do dado recurso utilizado para toda a área.

6. APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO COM O USO DA LINGUAGEM GAMS E CONCLUSÕES

6.1. Contextualização do cenário de processamento do modelo matemático

Rosenthal (2008), afirma que as linguagens de modelagem algébricas são amplamente aceitas como a melhor forma de representar e resolver problemas de programação matemática. As principais características que as distinguem são o uso de álgebra relacional e a capacidade de fornecer derivadas parciais em estruturas multidimensionais muito grandes e esparsas. Com o GAMS a representação do modelo matemático é exibida numa forma que pode ser facilmente entendida por humanos e por máquinas. A representação de um modelo GAMS é concisa e faz uso total da elegância da representação matemática.

O GAMS tem como objetivo original a função de melhorar a produtividade do construtor de modelos matemáticos, reduzindo seus custos, melhorando a confiabilidade e a credibilidade geral do processo de modelagem. Em seus princípios-chave o GAMS estabelece que a representação do problema é independente do método de solução e que suas representações de dados são independentes das plataformas de computação. Estes conceitos vinculam-se às características fundamentais para execução do projeto deste trabalho, uma vez que o mesmo deve prover um procedimento para facilitar a realização dos cálculos matemáticos envolvendo o modelo de programação linear, agilizando a obtenção de resultados à medida que se alteram os cenários produtivos.

Ao fazer uso da linguagem de programação do GAMS, que assim como outras linguagens computacionais possui sintaxe e semântica bem definidas, deve-se realizar a escrita (implementação) do problema. Tornando-se necessário a “conversão” do problema escrito em representação matemática, para a linguagem

GAMS, implementando-o em linguagem computacional capaz de ser interpretada e processada, para posterior obtenção dos resultados do modelo.

Nesta etapa de implementação do problema, seguindo as orientações de Rosenthal (2008), devem ser definidas as entidades do modelo para que sejam identificadas e agrupadas por tipo (Scalars, Parameters, Variables e Equations). Para que posteriormente possa ser definido uma ordem de leitura pelo programa destas entidades. De forma que nenhum símbolo (constantes escalares, parâmetros e equações) sejam referenciados sem antes ser declarado contextualmente. Encerrando a implementação com a definição de unidades de medida para as entidades, com a escolha de uma escala numérica tal que os valores resultantes calculados pelo otimizador do GAMS, tenham relativamente pequenas ordens absolutas de magnitude. Buscando por uma implementação capaz de prover uma leitura facilitada e ordenada do código, para que um leitor qualquer conhecedor do funcionamento do GAMS, possa facilmente interpretar o papel de cada símbolo, assim como o funcionamento do programa.

6.2. Otimização do modelo inicial e simulações de resultados

A estratégia adotada para a resolução do problema matemático em linguagem GAMS, considerou inicialmente uma função de restrição, a de área disponível, depois, outras restrições foram incrementadas, o que proporcionou a percepção da influência de cada uma no resultado da função objetivo - lucro máximo da safra.

O modelo matemático baseia-se em dezesseis cenários com seus respectivos parâmetros de operação, custo e produtividade (Tabela 8.2 - Apêndice B). A declaração 'SET', da linguagem de modelagem GAMS, corresponde aos índices que enumeram as dezesseis variáveis de decisão do modelo do problema de programação linear (Listagem 6.1).

```
SET  
i Cenario_de_Custos / 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 /
```

Listagem 6.1: SET para alocação dos cenários

No bloco de código SCALARS encontram-se os valores numéricos previamente conhecidos, os parâmetros *preco* e *area*. Atribuindo os valores de R\$ 118,22 para o preço de venda da saca de soja e 1000 hectares para a área produtiva (Listagem 6.2).

SCALARS

preco Preco Estimado da Soja (Reais por Saca)	/118.22/
area Area Total (Ha)	/1000/

Listagem 6.2: Declaração das variáveis escalares Preço Estimado da Saca e Área Total

A Listagem 6.3 apresenta os parâmetros de entrada de dados correspondentes aos índices “i” (SET), correspondes a cada cenário, contemplando a *Produtividade (Sacas por Ha)* e *custo (Reais por Ha)*, atribuindo dezesseis valores para cada índice do parâmetro.

PARAMETER

produtiv(i) Produtividade (Sacas por Ha)
 / 1=41.3, 2=43.5, 3=71.25, 4=85.5, 5=90, 6=74.5,
 7=80.25, 8=90.5, 9=43.5, 10=45.6, 11=75.25,
 12=80.5, 13=90.25, 14=77.5, 15=8.5, 16=91.5 /

custo_tot(i) Custo Total (Reais por Ha)
 / 1=2996.05, 2=3104.07, 3=3496.00, 4=3589.01, 5=3682.02,
 6=3604.02, 7=3697.03, 8=3790.04, 9=3145.85, 10=3259.27,
 11=3645.80, 12=3738.81, 13=3831.82, 14=3759.22, 15=3852.23, 16=3945.24 /;

Listagem 6.3: Declaração dos Parâmetros de Produtividade e Custo Total

Diferentemente dos parâmetros *Produtividade* e *Custo Total*, definidos na Listagem 6.3, que possuem valores de entradas definidos de acordo com as definições técnicas e calculadas anteriormente pelo tomador de decisões. Os parâmetros *receita(i)* e *lucro(i)* não possuem valores definidos e devem ser calculados durante a execução do programa, seguindo a sintaxe da linguagem GAMS. A Listagem 6.4 apresenta as declarações destes parâmetros e as respectivas atribuições de sua forma de cálculo. Para a realização de seus cálculos, o processador do GAMS manipula outros parâmetros já definidos na implementação do problema e constantes escalares. Calculando para cada cenário “i” a *receita líquida (Reais por Ha)* e do *lucro (Reais por Ha)* para cada um dos cenários.

PARAMETER

receita(i) Receita Obtida (Reais por Ha)
lucro(i) Lucro (Reais por Ha);
receita(i) = preco * produtiv(i);
lucro(i) = receita(i) - custo_tot(i);

Listagem 6.4: Declaração dos Parâmetros de Receita Obtida e Lucro

Na sequência da execução do processamento de cálculo do modelo matemático pelo GAMS, declara-se as variáveis $x(i)$ (bloco de código POSITIVE VARIABLE), $lucro_max$ (bloco de código VARIABLE) e as funções objetivo e de restrição (bloco de código EQUATIONS). A Listagem 6.5 apresenta a sintaxe correta em cada uma das seções para a definição da função objetivo e a restrição de área, possuindo sintaticamente a codificação necessária para a implementação da restrição.

```

POSITIVE VARIABLE
    x(i) Qtd. em Hectares a plantar no cenario i;
VARIABLE
    lucro_max Lucro Maximo Obtido pela Funcao Otimizacao;
EQUATIONS
    func_obj Funcao Maximizacao Lucro (Reais)
    restr_area_ha Restricao (Area por Ha);

    func_obj ..          lucro_max =e= sum(i, lucro(i)*x(i));
    restr_area_ha ..    sum(i, x(i)) =l= area;

```

Listagem 6.5: Definição das funções objetivos e de restrição.

Sendo finalizado o processo de implementação desta etapa mais básica do problema matemático, com as implementações das instruções de código para os blocos MODEL e SOLVE, conforme apresentado na Listagem 6.6. Instruindo o processamento para executar a maximização (MAXIMIZING) do modelo matemático, utilizando o algoritmo de programação linear (LP), para posterior apresentação do resultado.

```

MODEL
    lucro_total_safra /all/ ;
SOLVE lucro_total_safra MAXIMIZING lucro_max USING LP;

```

Listagem 6.6: Definição do método e do algoritmo para otimização do processamento.

6.2.1. Processamento básico : apenas com restrição de área

Definido o modelo, conforme seção 6.2, o modelo matemático pode ser processado pelo compilador e interpretador da ferramenta GAMS. Obtendo após o processamento um relatório que realiza a exibição do lucro máximo, através do sufixo

“.L” para a variável x, que busca o nível ou valor primário da variável lucro_max. O POSITIVE VARIABLE x(i), que representa a quantidade de hectares de um determinado cenário, também é exibido através de seu valor primário. Além dos valores marginais, utilizando o sufixo “.M” na variável x, que conceitualmente representam uma eventual perda em moeda (por isto o sinal negativo no número) na utilização do cenário. A implementação básica definida anteriormente, resulta nos resultados exibidos na Listagem 6.7.

```

---- VARIABLE lucro_max.L = 6957780.000 Lucro Maximo Obtido pela Funcao Otimizacao

---- VARIABLE x.L
5      1000.000

---- VARIABLE x.M
  1 -5071.344,  2 -4919.280,  3 -2030.605,  4 -438.980,  6 -1754.410
  7 -1167.655,  8 -48.910,   9 -4961.060, 10 -4826.218, 11 -1707.525
 12 -1179.880, 13 -120.245, 14 -1554.950, 15 -702.200, 16 -85.890

```

Listagem 6.7: Resultados obtidos no processamento do modelo matemático.

A análise dos resultados do processamento do modelo de programação linear determina o plantio dos 1000 hectares da área disponível, utilizando o cenário 5. Observando os parâmetros deste cenário é possível verificar uma produtividade de 80,6 sc/ha, com um custo total por hectare de R\$ 3682,02. Uma vez que o lucro é obtido multiplicando o valor da saca pela produtividade e subtraindo do custo total, o cenário que possui o maior valor desta operação é o que possui o maior lucro frente aos outros cenários, conforme cálculo exibido na Listagem 6.8. Como não há nenhuma outra restrição ao cenário com maior lucro total, este recebe toda a área a ser plantada.

Lucro Cenário 5 = $(118,22 * 90) - 3682,02 = \mathbf{R\$ 6.957,78/ha}$, que implica que para **1000** hectares têm-se **R\$ 6.957.780,00**

Listagem 6.8: Aferição do cálculo do processamento para obtenção do lucro máximo.

Os valores apresentados na listagem 6.7 para a variável x.M, valores marginais, são as perdas relativas ao substituir cada hectare indicado pelo cenário 5, por um hectare de outro cenário.

A tabela 6.1 exibe o valor marginal de cada cenário rechaçado pelo processamento. Note-se que o cenário 8 seria o menos prejudicial para substituir o cenário 5.

Tabela 6.1. Variáveis de Perdas em R\$/Ha por Cenários

CENÁRIO	PERDA EM R\$/HA	CENÁRIO	PERDA EM R\$/HA
1	5071,344	9	4961,060
2	4919,280	10	4826,218
3	2030,605	11	1,707,525
4	438,98	12	1179,880
5	-	13	120,245
6	1,754,410	14	1,554,950
7	1167,655	15	702,200
8	48,910	16	85,890

6.2.2. Processamento com restrições de área e orçamentária

Seguindo a estratégia para adição gradual de complexidade ao modelo matemático, foi acrescentada a restrição para a limitação financeira do projeto de safra. A restrição de orçamento foi estimada observando o cenário de menor custo, o de R\$ 2.996,05 por hectare para o cenário 1, o que implicaria num custo total de R\$ 2.996.050,00 para plantar os 1000 hectares do projeto, que resulta do produto do custo por hectare pela área disponível à ser plantada.

As declarações e comandos exibidas na Listagem 6.9, nos blocos de códigos SCALARS e EQUATIONS implementam esta nova função restritiva.

SCALARS

`orcamento` Orcamento Maximo a ser investido (Reais) /2996050/

EQUATIONS

`restr_orcamento` Restricao (Orcamento Disponivel);
`restr_orcamento ..` $\text{sum}(i, \text{custo_tot}(i) * x(i)) = \text{orcamento};$

Listagem 6.9: Inserção da variável e equação referente a restrição de orçamento.

O resultado apresentado quando utilizado esta nova restrição resulta na opção por plantar 813,697 hectares usando o cenário 5, resultando no lucro estimado de R\$ 5.661.527,31. Portanto, não seria usada toda a área disponível para o plantio, demonstrando que, mesmo tomando como referência o cenário de mais baixo custo dentre todos, o cenário 1, ainda assim, fatores de produtividade impedem do cenário

1 ser vantajoso em relação ao cenário 5. Os valores marginais, com perdas por hectares para a utilização de outros cenários para o plantio, são apresentados na Tabela 6.2. Note-se que o cenário 8 seria o menos prejudicial para uma eventual substituição de um hectare direcionado ao cenário 5.

Tabela 6.2. Variáveis de Perdas em R\$/Ha por Cenários

CENÁRIO	PERDA EM R\$/HA	CENÁRIO	PERDA EM R\$/HA
1	3775.091	9	3947.879
2	3827.149	10	4027.363
3	1679.090	11	1639.081
4	263.222	12	1287.194
5	-	13	403.317
6	1607.016	14	1700.832
7	1196.019	15	1023.840
8	253.031	16	583.287

6.2.3. Processamento com restrições de área, orçamentária e da quantidade de cultivares (recursos) a serem utilizadas.

As restrições podem limitar as atividades agrícolas através da carência parcial ou total de um ou mais recursos, podendo tais limitações serem causadas por diversas motivações. Nestes casos, o processamento do modelo matemático será “obrigado” a escolher um cenário mais oneroso, em detrimento de um outro mais barato, devido a impossibilidade de produção dentro de um cenário limitado. O modelo matemático deve prever estas limitações através da implementação de funções de restrição que avaliam os cenários, para que o tomador de decisões se respalde em números que ilustram situações adversas no ambiente produtivo.

Os dezesseis cenários deste trabalho, foram divididos em dois grupos, um grupo de oito cenários utilizando sementes/cultivares convencionais para o plantio, com outros oito cenários utilizando cultivares transgênicas. A tabela 8.2 do Apêndice B apresenta para cada cenário suas respectivas quantidades de sementes/cultivares a serem plantadas por hectare. Podendo de acordo com as restrições impostas pelo modelo matemático, ser definido a escolha de somente cenários com cultivares convencionais, somente cultivares transgênicas, ou a mistura de ambas para serem usados pelo plantio.

A seção 5.2.3 apresentou duas funções de restrições que determinam um limite máximo 30.000 Kg para a semeadura com cultivares convencionais e 25.000 Kg com cultivares transgênicas. Porém, para efeitos de simulação será empregado o conceito de preços sombras, que são usados para indicar que aumentar individualmente qualquer coeficiente b_i de uma unidade, o valor direito da função restritiva que indica a disponibilidade do recurso, implica no aumento do valor ótimo da função objetivo.

Assim, inicia-se a implementação da restrição adotando 35.500 Kg de cultivares convencionais e 45.500 kg de cultivares transgênicas. De forma a simular para ambos cultivares quantidades capazes de suprir individualmente todo o plantio dos 1000 hectares. A listagem 6.10 contém a implementação desta restrição.

SCALARS

qtd_dispon_sement_conv Qtd Sementes Convencionais Disp. p. Plantio (Kg) /35500/

qtd_dispon_sement_trans Qtd Sementes Transgenicas Disp. P. Plantio (Kg) /45500/;

PARAMETER

rend_semente_conv(i) Rendimento Semente Conv. a ser Plantada (Kg por Ha)

/ 1=35.5, 3=35.5, 4=35.5, 5=35.5, 9=35.5, 11=35.5, 12=35.5, 13=35.5 /

rend_semente_trans(i) Rendimento Semente Transg. a ser Plantada (Kg por Ha)

/ 2=45.5, 6=45.5, 7=45.5, 8=45.5, 10=45.5, 14=45.5, 15=45.5, 16=45.5 /;

EQUATIONS

...

restr_disp_semente_soja_conv Restricao Area ser Plantada Soja Convencional (Ha)

restr_disp_semente_soja_trans Restricao area ser Plantada Soja Transgenica (Ha);

restr_disp_semente_soja_conv .. $\sum(i, \text{rend_semente_conv}(i) * x(i)) = l =$

qtd_dispon_sement_conv;

restr_disp_semente_soja_trans .. $\sum(i, \text{rend_semente_trans}(i) * x(i)) = l =$

qtd_dispon_sement_trans;

Listagem 6.10: Inserção das variáveis e equações referentes a restrição de cultivares.

Constatando-se após o processamento que por não haver nenhuma limitação do número de sementes convencionais, uma vez que 35.500 é suficiente para plantar toda a área com este cultivar, o processamento continua selecionando o cenário 5. Definindo 813,697 hectares a serem plantados, resultando num lucro máximo de R\$ 5.661.527,305, o mesmo resultado da simulação anterior, demonstrando que a alteração proposta não muda a previsão de lucro. A Tabela 6.3 mostra novamente que o cenário 8 seria o menos prejudicial para substituir o cenário 5.

Tabela 6.3. Variáveis de Perdas em R\$/Ha por Cenários

CENÁRIO	PERDA EM R\$/HA	CENÁRIO	PERDA EM R\$/HA
1	3775,091	9	3947,879
2	3827,149	10	4027,363
3	1679,090	11	1639,081
4	263,222	12	1287,194
5	-	13	403,317
6	1607,016	14	1700,832
7	1196,019	15	1023,840
8	253,031	16	583,2874

À medida que diminui-se a disponibilidade de cultivares convencionais, que possuem um rendimento de semeadura por hectare de 35,5 Kg/ha, frente a 45,5 Kg/ha dos cultivares transgênicos, a solução do modelo busca um cenário com cultivar transgênico mais econômico. Assim, com a diminuição de 35.500Kg para 17.750 Kg de cultivares convencionais, o cenário 8 passa a compor juntamente ao cenário 5, a combinação de cenários mais lucrativos a serem plantados. Desta combinação obtêm-se um lucro de R\$ 5.584. 414,27, com 500,000 hectares usando as atividades e recursos vinculados ao cenário 5 e 304,757 hectares utilizando o cenário 8. Com essa restrição, 31.633,571 Kg de sementes transgênicas não seriam usadas. A solução indica não plantar parte da área total, deixando 195,243 hectares sem utilizá-lo.

À medida que a disponibilidade dos cultivares convencionais vão sendo mais restritas, uma maior área é escolhida para plantar utilizando o cenário 8. Não havendo sementes convencionais, a solução ótima indicaria um plantio de 790,506 hectares no cenário 8, obtendo um lucro máximo de R\$ 5.461.504,354.

6.2.4. Processamento com restrições de área, orçamentária, de sementes (recursos) a serem utilizadas e de recursos hídricos através do uso de irrigação.

As restrições referentes a irrigação foram modeladas seguindo as possibilidades de dois tipos de limitações conforme definido na seção 5.2.4, em que a oferta da água pode ser limitada em função da capacidade dos conjuntos de equipamentos em dar vazão a água e pela licença concedida pela outorga, a fim de suprir as necessidades hídricas fisiológicas do plantio. Ambas restrições refletem o relacionamento entre demanda com a disponibilidade na desigualdade.

Seguindo o modelo matemático, foram adotados para os cenários com pivôs, valores de vazão de água conforme três tipos de conjuntos de equipamentos, obedecendo as seguintes especificações técnicas: (1) Moto-Bomba de 48,65cv com lâmina de irrigação 200 mm/ciclo; (2) Moto-Bomba de 61,32cv com lâmina de irrigação 238 mm/ciclo e (3) Moto-Bomba de 92,34cv com lâmina de irrigação 354 mm/ciclo. Cujas áreas irrigadas pelos pivôs correspondem a 80,28, 90,28 e 120,28 hectares e o número de horas para completar um ciclo completo são de 12,5, 13,5 e 14,5 respectivamente.

Seguindo as definições da seção 5.2.4, que determinou um valor médio de 700 milímetros de água, para suprir toda a necessidade hídrica das plantas ao longo de todo o ciclo produtivo. Assumindo ser este um valor capaz de prover um rendimento máximo produtivo ao ciclo de safra. Embora o valor seja expresso em milímetros, faz-se necessário sua conversão em litros por hectare, através da divisão por 0,0001 (1/10000, uma vez que 1 hectare tem 10.000 metros quadrados). A Listagem 6.11 apresenta a definição do parâmetro referente à necessidade hídrica, implementada em linguagem GAMS, que pode ser obtido através do valor médio de água (convertido em litros/ha), dividido pelo número total de dias do ciclo, retorna a quantidade de água necessária para um dia de fornecimento, que multiplicado pela quantidade de dias que serão necessários irrigar toda a área resultam na necessidade hídrica para todo o ciclo em litros por hectare.

SCALARS

necessid_hidrica_mm_no_ciclo	Necessidade Hídrica em MM de água durante todo o ciclo para o max rendimento	/700/
num_horas_funcionam_pivo_por_dia	Numero de Horas de Funcionamento do Pivo Central por Dia	/21/;

PARAMETER

num_total_dias_ciclo(i)	Numero Total de Dias do Ciclo de Acordo com o Cenario
/ 1=120, 2=115, 3=120, 4=120, 5=120, 6=115, 7=115, 8=115, 9=120, 10=115, 11=120, 12=120, 13=120, 14=115, 15=115, 16=115 /	
num_estimado_dias_irrig(i)	Estimativa da Qtd. de Dias necessários que haja irriga
/ 1=0, 2=0, 3=52, 4=52, 5=52, 6=50, 7=50, 8=50, 9=0, 10=0, 11=57, 12=57, 13=57, 14=55, 15=55, 16=55 /;	

PARAMETER

necessid_hidrica_litros_ha_irrig_no_ciclo(i) Necessidade Hídrica (litros-ha) para irrig durante todo o ciclo

$$\text{necessid_hidrica_litros_ha_irrig_no_ciclo}(i) = ((\text{necessid_hidrica_mm_no_ciclo}/0.0001) / \text{num_total_dias_ciclo}(i)) * \text{num_estimado_dias_irrig}(i);$$

Listagem 6.11: Inserção das scalars e parameters referentes a necessidade hídrica ao longo de todo ciclo de safra.

Após equacionar a demanda fisiológica do plantio, através do parâmetro *necessid_hidrica_litros_ha_irrig_no_ciclo(i)*, torna-se necessário modelar o outro lado da desigualdade quantificando a disponibilidade do conjunto de equipamentos de irrigação, relacionado às duas partes.

Importante o entendimento de que cada cenário irrigado está vinculado a um único tipo de conjunto de equipamentos. Dessa forma, ao adotar um determinado cenário, opta-se por um ou mais pivôs de um determinado tipo, para toda a área selecionada para aquele cenário. Esta abordagem foi assumida objetivando dar ao tomador de decisões a capacidade de variar cenários produtivos dentro da área, mas não de variar insumos, equipamentos e serviços dentro dos cenários. Uma vez que o cenário já foi definido na etapa inicial, com seu custo total incluso na função objetivo.

Portanto, cada parâmetro relacionado a um dos três tipos de conjuntos de equipamentos, dimensionados com diferentes vazões em metros cúbicos por hora, devem utilizar um novo índice “j”, definido um valor de 1 a 3 para um dos conjuntos. O modelo considera uma situação ideal ao longo do ciclo produtivo, com equipamentos operando no decorrer do número de horas estimados pela produção, a uma dada vazão constante. A Listagem 6.12 apresenta a implementação dos parâmetros relacionados à vazão projetada pelos equipamentos, a área de cobertura de cada pivô, o número de horas para a execução de uma volta completa em torno da área de cobertura.

SET

i Cenario_de_Custos / 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 /

j Conjunto_Equipamentos / 1, 2, 3 /

SCALARS

necessid_hidrica_mm_no_ciclo Necessidade Hídrica em MM de água durante todo o ciclo para o max rendimento /700/

num_horas_funcionam_pivo_por_dia Numero de Horas de Func. do Pivo Central por Dia /21/;

PARAMETER

num_total_dias_ciclo(i) Num Total Dias do Ciclo de Acordo com o Cenário
/ 1=120, 2=115, 3=120, 4=120, 5=120, 6=115, 7=115, 8=115, 9=120,
10=115, 11=120, 12=120, 13=120, 14=115, 15=115, 16=115 /

num_estimado_dias_irrig(i) Estimativa da qtd. de dias necessários Irrigação
/ 1=0, 2=0, 3=52, 4=52, 5=52, 6=50, 7=50, 8=50, 9=0, 10=0, 11=57,
12=57, 13=57, 14=55, 15=55, 16=55 /

vazao_projet Equip mm(j) Vazão Projetada p/ Conj. Equipamento (m³ por Hora)
/ 1=217.35, 2=258.12, 3=384.68 /

area_pivo_central(j) Área de cada Pivo Central (Ha)
/ 1=80.28, 2=90.28, 3=120.28 /

num_horas_pivo_volta_completa(j) Num de Horas que o pivo demora p dar 1 volta completa na área / 1=12.5, 2=13.5, 3=14.5 /;

PARAMETER

vazao_produz Equip 200mm todo ciclo litros Vazão Produzida pelos Equipamentos de 200 mm no decorrer de todo Ciclo Produtivo (Litros)

vazao_produz Equip 238mm todo ciclo litros Vazão Produzida pelos Equipamentos de 238 mm no decorrer de todo Ciclo Produtivo (Litros)

vazao_produz Equip 354mm todo ciclo litros Vazão Produzida pelos Equipamentos de 354 mm no decorrer de todo Ciclo Produtivo (Litros);

$necessid_hidrica_litros_ha_irrig_no_ciclo(i) = ((necessid_hidrica_mm_no_ciclo/0.0001) / num_total_dias_ciclo(i))*num_estimado_dias_irrig(i);$

vazao_produz Equip 200mm todo ciclo litros =
 $((vazao_projet_equip_mm("1")*1000)*(num_horas_pivo_volta_completa("1")*(num_horas_funcionam_pivo_por_dia/num_horas_pivo_volta_completa("1"))))*num_estimado_dias_irrig("3");$

vazao_produz Equip 238mm todo ciclo litros =
 $((vazao_projet_equip_mm("2")*1000)*(num_horas_pivo_volta_completa("2")*(num_horas_funcionam_pivo_por_dia/num_horas_pivo_volta_completa("2"))))*num_estimado_dias_irrig("4");$

vazao_produz Equip 354mm todo ciclo litros =
 $((vazao_projet_equip_mm("3")*1000)*(num_horas_pivo_volta_completa("3")*(num_horas_funcionam_pivo_por_dia/num_horas_pivo_volta_completa("3"))))*num_estimado_dias_irrig("5");$

EQUATIONS

restr_demanda_hidr_disponib Equip em mm Restrição para demanda hídrica para rendimento máximo da produtividade de crescimento em função da disponibilidade dos equipamentos;

```

restr_demanda_hidr_disponib equip_em_mm .. sum(i,
necessid_hidrica_litros_ha_irrig_no_ciclo(i)*x(i)) =l=
vazao_produz equip_200mm_todo_ciclo_litros;

```

Listagem 6.12: Inserção dos scalars, parameters e equations referentes a limitação da vazão de água frente à necessidade fisiológica das plantas.

Analisando a Listagem 6.12 verifica-se que embora os parâmetros de vazão tenham sido definidos para os três tipos de conjuntos de equipamento, apenas uma função de restrição relacionada aos equipamentos de bomba de 200mm foi utilizada no processamento, conforme pode ser observado no bloco de códigos EQUATIONS. Arbitrando-se para a resolução deste problema que não fossem misturados cenários com diferentes tipos de pivô dentro da área num mesmo processamento. Entendendo que o tomador de decisões ao se planejar, escolhe por um mesmo tipo de conjunto de equipamentos para toda a área. Evitando diferentes custos de implantação com diferentes conjuntos de equipamentos dentro da área. Assim sendo, o tomador de decisões deve realizar processamentos separadamente para os três tipos de conjunto de equipamentos, baseando sua escolha nos resultados obtidos para cada um.

Realizando alguns processamentos com diferentes restrições para a vazão de água, nota-se que a medida que aumenta-se a capacidade de fornecimento de água através de uma maior vazão do conjunto de equipamentos, uma maior área é irrigada tendendo para a escolha pelo cenário 10. Observando-se também um aumento gradual do lucro máximo obtido pela função de otimização. A Listagem 6.13 apresenta os seguintes resultados processados utilizando o parâmetro vazao_produz equip_200mm_todo_ciclo_litros.

```

---- 73 VARIABLE lucro_max.L = 2509194.254 Lucro Maximo Obtido pela Func Otimizacao

---- 74 VARIABLE x.L Qtd. em Hectares a plantar no cenario i
      5 78.246, 10 921.754

---- 75 VARIABLE x.M Qtd. em Hectares a plantar no cenario i
      1 -245.126, 2 -93.062, 3 -2030.605, 4 -438.980, 6 -1770.551
      7 -1183.796, 8 -65.051, 9 -134.842, 11 -2171.584, 12 -1643.939
      13 -584.304, 14 -2055.327, 15 -1202.577, 16 -586.267

```

Listagem 6.13: Resultados obtidos no processamento com conjunto de equipamentos de vazão projetada de 200mm.

Ao reprocessar o modelo matemático com o uso do GAMS, novos resultados são calculados conforme apresentado na Listagem 6.14, com a utilização da função de restrição e do parâmetro vazao_produz Equip_238mm_todo_ciclo_litros.

```
---- 73 VARIABLE lucro_max.L = 2580029.620 Lucro Maximo Obtido pela Func. Otimizacao
---- 74 VARIABLE x.L Qtd. em Hectares a plantar no cenario i
      5 92.923, 10 907.077
---- 75 VARIABLE x.M Qtd. em Hectares a plantar no cenario i
      1 -245.126, 2 -93.062, 3 -2030.605, 4 -438.980, 6 -1770.551
      7 -1183.796, 8 -65.051, 9 -134.842, 11 -2171.584, 12 -1643.939
      13 -584.304, 14 -2055.327, 15 -1202.577, 16 -586.267
```

Listagem 6.14: Resultados obtidos no processamento com conjunto de equipamentos de vazão projetada de 238mm.

Novamente substituindo no modelo matemático a função restrição, por outra que usa o parâmetro vazao_produz Equip_354mm_todo_ciclo_litros e realizando um novo processamento. Obtêm-se novos resultados conforme apresentados na Listagem 6.15, para estes equipamentos dimensionados para maior vazão de água.

```
---- 73 VARIABLE lucro_max.L = 2799919.834 Lucro Maximo Obtido pela Func. Otimizacao
---- 74 VARIABLE x.L Qtd. em Hectares a plantar no cenario i
      5 138.485, 10 861.515
---- 75 VARIABLE x.M Qtd. em Hectares a plantar no cenario i
      1 -245.126, 2 -93.062, 3 -2030.605, 4 -438.980, 6 -1770.551
      7 -1183.796, 8 -65.051, 9 -134.842, 11 -2171.584, 12 -1643.939
      13 -584.304, 14 -2055.327, 15 -1202.577, 16 -586.267
```

Listagem 6.15: Resultados obtidos no processamento com conjunto de equipamentos de vazão projetada de 354mm.

Uma simples comparação dos resultados de lucros, da listagem 6.13, \$2.509.194,25, da listagem 6.14 \$2.580.029,62 e da listagem 6.15 \$2.799.919,83 mostra a melhoria sucessiva com as simulações.

Há uma outra função de restrição relacionada a limitação ao uso de irrigação, que relaciona a necessidade hídrica fisiológica do plantio ao longo de todo o ciclo de safra (demanda), condicionada à disponibilidade de água outorgada pelos órgãos pertinentes (disponibilidade). O valor limitante referente a quantidade de água autorizada para o uso pela licença adquirida foi arbitrado, conforme definição da seção 5.2.4, a fim de prover o número total de litros permitidos no decorrer da safra, atribuído

pela variável *qtd_agua_outorgada_todo_ciclo_litros*, no bloco de código SCALAR. A Listagem 6.16 apresenta a implementação do código em GAMS para a execução desta função restritiva.

```

SET
    i Cenario_de_Custos          / 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 /
    j Conjunto_Equipamentos      / 1, 2, 3 /
SCALARS
    necessid_hidrica_mm_no_ciclo  Necessidade Hídrica em MM de água durante todo o ciclo
    para o max rendimento          /700/
    num_horas_funcionam_pivo_por_dia  Numero de Horas de Funcionamento do Pivo
    Central por Dia                  /21/
    qtd_agua_outorgada_todo_ciclo_litros  Quantidade de Agua Outorgada para irrigacao em
    todo Ciclo Produtivo (L)        /10000000/;
PARAMETER
    num_total_dias_ciclo(i)          Num Total Dias do Ciclo de Acordo com o Cenario
    / 1=120, 2=115, 3=120, 4=120, 5=120, 6=115, 7=115, 8=115, 9=120,
    10=115, 11=120, 12=120, 13=120, 14=115, 15=115, 16=115 /
    num_estimado_dias_irrig(i)       Estimativa da qtd. de dias necessários Irrigacao
    / 1=0, 2=0, 3=52, 4=52, 5=52, 6=50, 7=50, 8=50, 9=0, 10=0, 11=57,
    12=57, 13=57, 14=55, 15=55, 16=55 /
    vazao_projet Equip_mm(j)         Vazao Projet p/ Conj. Equipamento (m3 por Hora)
    / 1=217.35, 2=258.12, 3=384.68 /
    area_pivo_central(j)            Area de cada Pivo Central (Ha)
    / 1=80.28, 2=90.28, 3=120.28 /
    num_horas_pivo_volta_completa(j)  Num de Horas que o pivo demora p dar 1 volta
    completa na area
    / 1=12.5, 2=13.5, 3=14.5 /;
PARAMETER
    necessid_hidrica_litros_ha_irrig_no_ciclo(i)  Necessidade Hidrica (litros-ha) para irrig
    durante todo o ciclo
    necessid_hidrica_litros_ha_irrig_no_ciclo(i) = ((necessid_hidrica_mm_no_ciclo/0.0001) /
    num_total_dias_ciclo(i))*num_estimado_dias_irrig(i);
EQUATIONS
    restr_qtd_agua_outorgada_todo_ciclo_litros    sum(i,
necessid_hidrica_litros_ha_irrig_no_ciclo(i)*x(i)) =l= qtd_agua_outorgada_todo_ciclo_litros;

```

Listagem 6.16: Inserção dos scalars, parameters e equations para implementação da função restritiva para a limitação da vazão de água frente a quantidade de água outorgada.

O valor de *qtd_agua_outorgada_todo_ciclo_litros* é utilizado na função de restrição, *restr_qtd_agua_outorgada_todo_ciclo_litros*, limitando todos os cenários que fazem uso de conjuntos de equipamentos para irrigação. Com processamento separado, analogamente ao processamento das restrições referentes ao conjunto dos equipamentos. Intuitivamente pode-se concluir que quanto maior o parâmetro *qtd_agua_outorgada_todo_ciclo_litros*, maior a liberação de água para uso dos cenários irrigados e conseqüentemente maior tendência de uso de cenários irrigados. Uma vez que estes são mais produtivos (porém mais onerosos) que os cenários que contam apenas com águas pluviais. Em contrapartida, um menor valor para *qtd_agua_outorgada_todo_ciclo_litros* pode limitar totalmente o uso dos cenários irrigados. Os resultados obtidos pelo processamento contendo a restrição condicionada à disponibilidade de água outorgada são exibidos conforme Listagem 6.17.

```

---- 75 VARIABLE lucro_max.L = 2322776.955 Lucro Maximo Obtido pela Func. Otimizacao

---- 76 VARIABLE x.L Qtd. em Hectares a plantar no cenario i
      2 872.386, 5 78.246

---- 77 VARIABLE x.M Qtd. em Hectares a plantar no cenario i
      1 -81.125, 3 -1908.442, 4 -377.899, 6 -1718.369, 7 -1192.695
      8 -135.032, 9 -69.218, 10 -8.861, 11 -2120.251, 12 -1653.687
      13 -655.134, 14 -2076.323, 15 -1284.654, 16 -729.426

```

Listagem 6.17: Resultados obtidos no processamento com adição da restrição de disponibilidade da água pela outorga.

O processamento contendo todas as restrições previstas para o modelo revela um lucro ótimo menor que os valores apresentados pelos processamentos anteriores apresentados nesta seção. Evidenciando que a medida que adicionam-se mais restrições, ou seja, limitações ao uso dos recursos e conseqüentemente a nova definição dos cenários produtivos. O processamento do GAMS opta pela escolha de alternativas viáveis, mais lucrativas, permitidas pelo conjunto completo das restrições implementadas no modelo matemático. Havendo neste caso uma migração para o uso dos cenários 2 e 5, que fazem uso de irrigação natural e artificial respectivamente, optando em mais de 87% da área pela irrigação natural.

7. ANÁLISES, CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Hillier e Lieberman (2013) definem que o objetivo do método simplex é descobrir como usar os recursos disponíveis da forma viável mais rentável, buscando para isto chegar a uma solução básica viável capaz de satisfazer todas as exigências sobre uso lucrativo dos recursos. Devendo o método simplex examinar as variáveis manipuladas, verificando quais delas podem fornecer um emprego mais rentável dos recursos por seu próprio aumento.

A utilização do GAMS mostrou-se fundamental como ferramenta para a tomada de decisões. Provendo através dos processamentos do modelo matemático, a capacidade de realizar simulações com variações de resultados referentes ao lucro máximo, aos custos marginais e ao uso ou desuso de determinados cenários produtivos. A capacidade de realizar várias simulações possibilita conflitar o dimensionamento dos recursos utilizados nos cenários, compatibilizando os resultados obtidos algebricamente como a execução prática do planejamento. Nessa linha, as estimativas de custos e lucros associados ao ciclo produtivo, são essenciais para o processo decisório de curto prazo, pois permitem vislumbrar e avaliar a sua viabilidade econômica.

A variável custo total do ciclo de plantio é primordial para a definição do processamento matemático na escolha de cada cenário. Uma vez que seu valor influencia diretamente no cálculo do lucro, sofrendo sensivelmente as oscilações referentes às variáveis ambientais, operacionais e econômicas. Sendo este o grande gargalo na estimativa de um lucro ótimo. Pois o custo total vem de uma série de manipulações com diversos outros custos, que demandam a composição das atividades relacionadas às operações de campo, ao longo de meses de trabalho. Incurrendo em suposições técnicas e tentativas de realizar previsões dos diversos preços de insumos e serviços que envolvem uma safra. A seção 4.3 descreve os custos incorridos ao longo do processo e mostra que mesmo para um administrador experiente e órgãos de pesquisa sua previsão possui uma certa complexidade.

Sendo essencial o levantamento dos preços de insumos, quantidades reais a serem utilizadas em cada atividade e o rendimento de acordo com as variedades, composições e fabricantes. Este levantamento é de grande dificuldade para um trabalho desta natureza, não tratando-se apenas de uma cotação de preços, mas

envolve o emprego de técnicas agrícolas. Cabendo a profissionais que conhecem a região a ser plantada, capazes de determinarem o que funciona e não funciona para cada cenário. A definição dos cultivares a serem plantados, insumos, equipamentos, tipos de mão de obra, técnicas a serem empregadas para cada operação e quais operações efetivamente devem ser usadas não é um trabalho de simples levantamento dos melhores preços.

Diante disto, o objetivo maior deste trabalho é a elaboração das etapas para se chegar a um lucro máximo, à partir dos procedimentos e técnicas aqui descritas, chegando a um modelo matemático condizente com os requisitos desejados. Modelo matemático este que poderá ser ampliado com inserção de novos custos e novas restrições, possibilitando uma maior diversificação que contemple novos cenários produtivos diferentes dos aqui apresentados. Não sendo relevante o valor numérico propriamente dito, obtido pelo processamento que expressa um lucro ótimo, frente aos custos apresentados. Pois embora este número seja fundamental como saída do processamento, ele representa apenas mais um valor calculado diante de inúmeras possibilidades de cenários de custos.

Segundo Buffa (1972), a implicação óbvia de uma decisão é que existem soluções alternativas, em que o curso de ação pode ser posto em prática. Em que havendo alternativas e um propósito a atingir, torna-se necessário a elaboração de critérios de comparação, plenamente providos pelas simulações oferecidas pelo processamento de um modelo matemático. De forma que a aceitabilidade de uma alternativa seja respaldada por resultados numéricos consolidados matematicamente. Buscando por um modelo que retrata com precisão o que se passa no mundo real dentro do contexto produtivo apresentado. Sendo o objetivo da construção de modelos, a previsão de algum aspecto do funcionamento de um sistema em estudo. É por isto que os modelos são tão importantes para a tomada de decisões, pois a tomada racional de decisões exige a previsão de comportamento. Os modelos fornecem esta relação.

8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 2017. ANA, Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>> Acesso em: 23 ago. 2020.

ALVES, E. R. de A. **O que significam as medidas de produtividade da agricultura?** Revista de Economia e Agronegócio / Brazilian Review of Economics and Agribusiness, v. 08, n. 3, p. 349-370, 2010.

ALVES JÚNIOR, J. ET AL. **Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate**. Pesq. Agropec. Pernamb., Recife, 22, e201703, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.12661/pap.2017.011>> Acesso em: 24 de nov. 2020.

BUFFA, E. S. **Administração da Produção** - Coleção Universitária de Administração. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1972.

CAPELLO, F. P.; MENTEN M. M.; MANARIN, L. K. **Mecanização Racional**. Hortifruti Brasil, CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP. n. 99, nov. 2010.

CASTRO, S. H. de; REIS, R. P.; LIMA, A. L. R. **Custos de produção da soja cultivada sob sistema de plantio direto: estudo de multicaseiros no oeste da Bahia**. 2005. Monografia (Curso de Pós-Graduação Lato Sensu). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB do Agronegócio cresce 3,81% em 2019**, CEPEA, Disponível em: <[https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_2019\(1\).pdf](https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_2019(1).pdf)> Acesso em: 13 de mar 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A Produtividade da Soja: Análise e Perspectivas**. Compêndio de Estudos Conab. Brasília: v.10, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil 2019**. Compêndio de Estudos Conab. Brasília: v.1, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de Produção Agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília : Conab, 2010. 60 p. : il.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **O comportamento dos preços dos insumos agrícolas na produção de milho e soja.** Compêndio de Estudos Conab. Brasília: v.1, 2016.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Pib do Agronegócio Cresce 3,81% Em 2019.** PIB DO AGRONEGÓCIO, 6 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/boletins/pib-do-agronegocio-cresce-3-81-em-2019>> Acesso em: 13 de mar. 2021.

COSTA, T. B. da; TAVARES, M. **Análise envoltória de dados (DEA) para avaliação de eficiência produtiva em relação aos custos do milho safra.** Contabilometria - Brazilian Journal of Quantitative Methods Applied to Accounting, Monte Carmelo, v.1, n. 1, p. 15-25, 1º sem./2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Agricultura 4.0: a agricultura conectada.** 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/15894563/agricultura-40-a-agricultura-conectada>> Acesso em: 13 mar. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Desenvolvimento, Mercado e Rentabilidade da Soja Brasileira.** Circular Técnica, 74, Londrina-PR, Abr. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Soja em números (safra 2019/20).** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 13 mar. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Viabilidade econômica da cultura da soja para a safra 2019/2020, na região centro-sul de Mato Grosso do Sul.** Dourados, MS. Ago. 2019, Comunicado Técnico 251.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional.** 9. ed. São Paulo: McGraw-Hill, Bookman, 2013.

KANEKO, F. H. et al. **Custos e Rentabilidade do Milho em Função do Manejo do Solo e da Adubação Nitrogenada.** Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 40, n. 1, p. 102-109, jan./mar. 2010.

MARTIN, N. B. et al. **Custos: Sistema de Custo de Produção Agrícola.** Informações Econômicas, SP, v.24, n.9, set. 1994.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos.** 2003, 9. ed. São Paulo : Atlas, 2003.

MILAN, P. **Modelagem Matemática para a Otimização da Produção de Cafés Finos: Um Estudo de Caso**. 2008, 111 p. Dissertação (Mestre em Ciência – Economia Aplicada). Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2008.

PINTO, K. C. R. **Pesquisa Operacional para o Ensino Remoto. Modelos e Métodos de Apoio à Decisão**. 2020. p. 43. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2020.

RAPASSI, R. M. A.; SANT'ANA A. L.; TARSITANO, R. A.; PROENÇA, E. R. **Viabilidade econômica da implantação de um conjunto de irrigação - pivô central na produção de grãos no mato grosso do sul**. Cultura Agronômica, Ilha Solteira, v.26, n.4, p.596-610, 2017.

ROSENTHAL, R. E. **GAMS – A User's Guide**. 2008 GAMS Development Corporation, Washington, DC, USA.

RUBERTO, I. V. G.; MARETH, T.; PAIM, E. S. E.; PIENIZ, L. P. **Contribuição da Programação Linear na Gestão de Custos e na Produtividade em uma Propriedade Rural**. In: XIX Congresso Brasileiro de Custos – Bento Gonçalves, RS, Brasil, 12 a 14 nov. 2012.

SANTOS, M. M. dos; SILVA, D. M. da. **Aplicação da programação linear na otimização do agronegócio**. 2017. Rio Verde – GO.

SILVA, L. P. et al. **Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado**. Agrometeoros, Passo Fundo, v.28, e026702, 2020.

SILVA, R. P. da et al. **Custo Horário de Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Lamma – Unesp – Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”. Jaboticabal, mai. 2015.

SOUZA, J. L. M.; MACCARI JR., A., BITTENCOURT, J. **Programação linear em uma agroindústria - planejamento, redimensionamento e maximização do lucro. O caso de Guaraqueçaba-PR**. Acta Scientiarum. Agronomy, 21, 585-589. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v21i0.4291>, 2008.

TELLES, L. A. de A. **Otimização da Produção Agrícola e Florestal em Propriedades Rurais**. 2018, 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2018.

9. ANEXOS

ANEXO I – Tipos de Custos

Tabela 7.1. Classificação dos Tipos de Custos (Variáveis e Fixos)

A - CUSTO VARIÁVEL	
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA	
1	– Operação com máquinas e implementos
2	– Mão de obra e encargos sociais e trabalhistas
3	– Sementes
4	– Fertilizantes
5	– Defensivos Agrícolas (Agrotóxicos)
6	– Despesas com irrigação
7	– Despesas administrativas
8	– Outros itens
II - DESPESAS PÓS-COLHEITA	
1	– Seguro agrícola
2	– Transporte externo
3	– Assistência técnica e extensão rural
4	– Armazenagem
5	– Despesas administrativas
6	– Outros itens
III - DESPESAS FINANCEIRAS	
1	– Juros
B - CUSTO FIXO	
IV – DEPRECIAÇÕES e EXAUSTÃO	
1	– Depreciação de benfeitorias e instalações
2	– Depreciação de máquinas
3	– Depreciação de implementos
4	– Exaustão do cultivo
V - OUTROS CUSTOS FIXOS	
1	– Mão de obra e encargos sociais e trabalhistas
2	– Seguro do capital fixo
C - CUSTO OPERACIONAL (A + B)	
VI - RENDA DE FATORES	
1	– Remuneração esperada sobre capital fixo
2	– Terra
D - CUSTO TOTAL (C + VI)	

Fonte: Castro, Reis e Lima (2006)

ANEXO II – Dados relacionados a Máquinas e Implementos Agrícolas

Tabela 7.2. Vida útil para máquinas agrícolas

Produto	Vida útil - Anos	Vida útil - Horas	Vida útil - Dias	Valor Residual (%)
Abanador de cereal	10	2000		5
Adubadora autopropelida	10	12500		20
Aplicador autopropelido	10	12500		20
Atomizador costal motorizado	8	2000		5
Batedeira de cereais	10	2000		5
Caminhão	10	6000		25
Capinadeira	10	15000		25
Colhedora	10	5000		25
Colheitadeira	10	5000		25
Colheitadeira autopropelida Miniceifa	10	6000		25
Cultivador motorizado para grãos e cereais	10	2000		25
Debulhadeira	10	2000		5
Desintegrador	10	2000		5
Desintegrador picador e moedor	10	2000		5
Ensiladeira	10	2000		5
Ensiladeira picadeira	10	2000		5
Escavadeira hidráulica	20	24000		25
Forageira autopropelida	10	5000		25
Microtrator	10	6000		25
Misturador autopropelido	10	15000		25
Motorroçadeira	10	6000		25
Motossegadeira	10	6000		25
Pá carregadeira	10	12000		25
Picador de forragem	10	2000		5
Picadora	10	2000		5
Plantadora automotriz	10	1200		20
Pulverizador	10	10000		20
Pulverizador autopropelido e aplicador	10	10000		20
Pulverizador autopropelido	10	10000		20
Pulverizador elétrico	8	2000		5
Roçadeira manual	8	2000		5
Retroescavadeira	10	12000		25
Semeadeira adubadeira (pequeno trator)	15	1200		20
Soprador	5	3600		5
Tratador de semente	5	9000		25
Trator	20	15000		20
Trator de esteira	10	15000		20

Produto	Vida útil - Anos	Vida útil - Horas	Vida útil - Dias	Valor Residual (%)
Trator de roda	10	15000		20
Trator de roda para grãos e cereais	10	15000		20
Trator de roda pequeno porte	10	6000		25
Triturador	12	2500		5
Triturador moedor e picador	12	2500		5
Vagão	10	6000		25

Fonte: CONAB (2010)

Tabela 7.3. Vida Útil para Implementos Agrícolas

Produto	Vida útil - Anos	Vida útil - Horas	Vida útil - Dias	Valor Residual (%)
Abastecedor de adubo	8	2000		0
Abastecedor pulverizador	15	5000		5
Adubadeira	10	2000		5
Adubador	10	2000		5
Adubadora centrífuga	10	2000		5
Aeração e descompactação	12	2500		5
Ancinho	5	3600		5
Ancinho curvo	3		300	0
Ancinho enleirador	5	3600		5
Ancinho enleirador duplo	5	3600		5
Ancinho espalhador	5	3600		5
Ancinho esparramador	5	3600		5
Aplicador de adubo	10	2000		5
Aplicador de inseticida	12	2500		5
Arado	12	2500		5
Arado de aiveca	15	2500		5
Atomizador acoplado	8	2000		5
Barra aplicadora de herbicida	8	2000		5
Barra pulverizadora	8	2000		5
Batedeira	10	2000		5
Bomba de irrigação	5	6750		5
Caçamba carregadeira	12	5000		5
Caçamba carregadeira traseira	12	5000		5
Canteirador	12	2500		5
Canteirador central	12	2500		5
Canteiradeira para hortaliças	12	2500		5
Canudo abastecedor	8	2000		0
Carreta	15	5000		5
Carreta agrícola	15	5000		5

Produto	Vida útil - Anos	Vida útil - Horas	Vida útil - Dias	Valor Residual (%)
Carreta agrícola para grãos e cereais	15	5000		5
Carreta agrícola semigraneleira	15	5000		5
Carreta basculante metálica	15	5000		5
Carreta basculante metálica médio porte	15	5000		5
Carreta distribuidora de muda de cana	15	5000		5
Carreta distribuidora de fertilizante, calcário e adubo orgânico	10	2000		5
Carreta graneleira	15	5000		5
Carreta graneleira abastecedora	15	5000		5
Carreta graneleira agrícola	15	5000		5
Carreta graneleira e abastecedora	15	5000		5
Carreta graneleira estacionária (silo móvel)	15	5000		5
Carreta graneleira metálica basculante	15	5000		5
Carreta monobloco	15	5000		5
Carreta pulverizadora	8	2000		5
Carreta sulcadora e distribuidora canavieira	15	5000		5
Carreta sulcadora e distribuidora de torta de filtro	10	2000		5
Carreta tanque	15	5000		5
Carreta transbordo	15	5000		5
Carroceria	15	5000		5
Ceifadeira de discos	12	2500		5
Cobridor aplicador inseticida (agric familiar)	12	2500		5
Cortador de fardo	12	2500		5
Cultivador	12	2500		5
Cultivador adubador	12	2500		5
Cultivador subsolador	12	2500		5
Desensiladeira mescladora e alimentadora sobre rodas	12	2500		5
Desensiladora e distribuidor montado	12	2500		5
Desensiladora rebocada	12	2500		5
Desinsilador	12	2500		5
Desintegrador picador e moedor	10	2000		5
Distribuição de adubo, calcário, semente e fertilizante	10	2000		5
Distribuidor acoplado em caminhão	15	5000		5
Distribuidor de adubo	10	2000		5
Distribuidor de adubo e calcário	10	2000		5
Distribuidor de adubo orgânico e calcário	10	5000		5

Produto	Vida útil - Anos	Vida útil - Horas	Vida útil - Dias	Valor Residual (%)
Distribuidor de adubo orgânico líquido lobular e líquido à vacuo	15	5000		5
Distribuidor de adubo orgânico líquido-lobular	15	5000		5
Distribuidor de adubo orgânico líquido-vácuo	15	5000		5
Distribuidor de calcário	10	2000		5
Distribuidor de calcário, fertilizantes sólido e semente	10	2000		5
Distribuidor de esterco líquido	15	5000		5
Distribuidor de fertilizante	10	2000		5
Distribuidor de fertilizante a disco	10	2000		5
Distribuidor de fertilizante e corretivo	10	5000		5
Distribuidor de fertilizante sólido	10	2000		5
Distribuidor de fertilizante, calcário e semeadeira	10	2000		5
Distribuidor de semente, corretivo e fertilizante	10	2000		5
Distribuidor de fertilizante e semeadeira	10	2000		5
Distribuidor pendular de fertilizante, calcário e semeadeira	10	2000		5
Distribuidora de calcário e adubo	10	2000		5
Distribuidora de torta de filtro	15	5000		5
Distribuidora e alimentadora com batedor mecânico	10	5000		25
Empacotadeira automática	10	5000		25
Empilhadeira de fardo	12	5000		5
Embutidora de grãos para silo bolsa	10	2000		5
Encanteirador lateral	12	2500		5
Enfardadeira	10	5000		25
Enfardadeira de câmara fixa	10	5000		25
Enleirador	5	3600		5
Enleirador e espalhador	5	3600		5
Entaipaderia base larga	15	2500		5
Enxada rotativa	12	2500		5
Enxada hexagonal	12	2500		5
Esgotadeira	15	2500		5
Garfo linha leve, pesada e econômica	3		300	0
Grade aradora	15	2500		5
Grade aradora controle remoto	15	2500		5
Grade aradora de arrasto	15	2500		5
Grade aradora mecânica	15	2500		5
Grade de disco em X	15	2500		5
Grade de disco em Y	15	2500		5
Grade destorreadora	15	2500		5

Produto	Vida útil - Anos	Vida útil - Horas	Vida útil - Dias	Valor Residual (%)
Grade hidráulica	15	2500		5
Grade Niveladora	15	2500		5
Grade niveladora controle remoto	15	2500		5
Grade niveladora leve	15	2500		5
Grade tandem	15	2500		5
Granuladeira	10	2000		5
Incorporador de fertilizante	10	2000		5
Lâmina enleiradora	15	5000		25
Manejo de solo e triturador	12	2500		5
Nivelador de solo cultivado mínimo	12	5000		20
Niveladora de solo grade plaina	15	2500		5
Nivelador de solo (plaina hidráulica niveladora)	12	5000		20
Pá carregadeira	12	5000		5
Pá carregadeira traseira	12	5000		5
Plaina	12	5000		5
Plaina agrícola	12	5000		5
Plaina agrícola dianteira	12	5000		5
Plaina carregadeira agrícola	12	5000		5
Plaina dianteira	12	5000		5
Plaina hidráulica dianteira	12	5000		5
Plaina hidráulica reversível	12	5000		5
Plaina niveladora	12	5000		5
Plaina niveladora multilâminas	12	5000		5
Plaina traseira	12	5000		5
Plaina traseira reversível	12	5000		5
Plantadeira	15	1200		20
Plantadeira adubadeira	15	1200		20
Plantadeira de grãos e adubadeira	15	1200		20
Plantadeira semeadeira e distribuição de adubo	15	1200		20
Plantadora	15	1200		20
Plantadora adubadora	15	1200		20
Plantadora de arrasto e adubadora	15	1200		20
Plantadora hidráulica de arrasto e adubadora	15	1200		20
Plantadora mecânica e fertilização	15	1200		20
Plantadora rebocada pneumática e fertilização	15	1200		20
Plantadora rebocada e fertilização	15	1200		20
Plantadora semente graúda (linha de fertilizante)	15	1200		20
Plataforma	10	5000		25
Plataforma de colheita	10	5000		25
Plataforma de corte	10	5000		25

Produto	Vida útil - Anos	Vida útil - Horas	Vida útil - Dias	Valor Residual (%)
Plataforma de grãos	10	5000		25
Prancha hidráulica	15	5000		5
Pulverizadora (Canhão)	8	2000		5
Pulverizador	8	2000		5
Pulverizador acoplado	8	2000		5
Pulverizador costal	5		1825	0
Pulverizador de arrasto	8	2000		5
Pulverizador hidráulico	8	2000		5
Pulverizador manual	5		1825	0
Pulverizador rebocado	8	2000		5
Pulverizador tracionado	8	2000		5
Pulverizador turbo atomizador	8	2000		5
Raspadeira agrícola	20	5000		20
Rastelão	3		300	0
Reboque	15	5000		5
Recolhedora	10	5000		25
Roçadeira	12	2500		5
Roçadeira com aplicação simultânea de herbicida	12	2500		5
Roçadeira de arrasto	12	2500		5
Roçadeira hidráulica	12	2500		5
Roçadeira lateral	12	2500		5
Rolo destorador compactador	12	5000		25
Rolo faca agrícola	12	2500		5
Rotavator	12	2500		5
Rotocanteirador	12	2500		5
Segadeira condicionada	12	2500		5
Segadeira de disco	12	2500		5
Segadeira de tambor	12	2500		5
Segadeira p/ trator	12	2500		5
Segadora	12	2500		5
Segadora braço direito	12	2500		5
Segadora condicionadora montada	12	2500		5
Segadora condicionadora tripla	12	2500		5
Segadora de acostamento	12	2500		5
Segadora rebocada	12	2500		5
Segadora recolhimento horizontal	12	2500		5
Segadora recolhimento lateral	12	2500		5
Segadora recolhimento vertical	12	2500		5
Semeadeira adubadeira	15	1200		20
Semeadeira adubadeira manual	15		730	5
Semeadeira de arrasto e adubadeira	15	1200		20

Produto	Vida útil - Anos	Vida útil - Horas	Vida útil - Dias	Valor Residual (%)
Semeadeira direta articulada com fertilizantes	15	1200		20
Semeadeira direta articulada especial com fertilizante	15	1200		20
Semeadeira hidráulica e adubadeira	15	1200		20
Semeadeira manual	3		300	0
Semeadeira plantadeira e adubadeira	15	1200		20
Semeadora de plantio direto com distribuidor de fertilizante	15	1200		20
Semeadora e adubadeira	15	1200		20
Semeadora grão fino e adubadeira	15	1200		20
Semeadora grão graúdo e adubadeira	15	1200		20
Semeadora múltipla cultura de inverno e verão com linha de fertilizante	15	1200		20
Semeadora múltipla e adubadeira	15	1200		20
Semeadora rebocada mecânica e adubadora	15	1200		20
Subsolador	5	2500		5
Subsolador adubador e cultivador para cana	12	2500		5
Subsolador de mandioca	15	2500		5
Subsolador tandem 3ª geração	15	2500		5
Sulcador	15	2500		5
Sulcador adubador	15	2500		5
Sulcador adubador e cobridor	12	2500		5
Sulcador riscador de cereais	15	2500		5
Tanque roll on roll off	15	5000		5
Terraceador	15	2500		5
Transbordo rebocável de cereais e adubo	15	5000		5
Transportador de grãos e adubo	15	5000		5
Trilhadeira	10	2000		5
Vagão	12	5000		5
Vagão forrageiro	12	5000		5
Vagão forrageiro graneleiro basculante	15	5000		5
Vagão misturador	15	5000		5
Vagão transbordo	15	5000		5
Valeitadeira	15	2500		5
Varredora arruadora	12	2500		5
Veículo transbordo para grãos	15	5000		5

Fonte: CONAB (2010)

Tabela 7.4. Índices para cálculos dos consumos de combustíveis e manutenção ao longo da vida útil para máquinas.

ESPECIFICAÇÃO	TAXA MANUTENÇÃO MÁQUINA (%)	CONSUMO COMBUSTÍVEL (LIT/HORA/CV)	CONSUMO ÓLEO LUBRIFICANTE (LIT/HORA/CV)	CONSUMO GRAXA POR KG/H/CV	CV (POTÊNCIA MAQ.)
Trator 75 cv (4x2)	100%	0,25	0,13	0,07	75
Trator 75 cv (4x4)	80%	0,3	0,13	0,07	75
Trator 105 cv (4x2)	100%	0,25	0,14	0,09	105
Trator 105 cv (4x4)	80%	0,3	0,14	0,09	105
Trator 125 cv (4x4)	100%	0,3	0,145	0,15	125
Trator X cv (4x4)	80%	0,3	0,149	0,21	0
Trator 205 cv (4x4)	80%	0,3	0,153	0,27	205
Trator 225 cv (4x4)	80%	0,3	0,157	0,33	225
Trator 300 cv (4x4)	80%	0,3	0,161	0,39	300
Trator 380 cv (4x4)	80%	0,3	0,165	0,45	380
Trator Y cv (4x4)	80%	0,3	0,169	0	0

Fonte: Capello, Menten e Manarin (2010)

Tabela 7.5. Relação das operações agrícolas com seus respectivos rendimentos em horas por hectare de cada recurso utilizado

Operação	MÃO-DE-OBRA		MAQUINAS E EQUIPAMENTOS						
	Comum	Tratorista	Trator 77cv	Arado 3d	Grade 28d	Cultiv. 9E	Semead. - Adub.	Dist. - Calc.	Pulv. c/ barra
Aração (1x)		2,32	2,32	2,32					
Calagem	1,2	0,72	0,72					0,72	
Conservação do terraço		1,6	1,6	1,6					
Gradeação (3x)		2,64	2,64		2,64				
Aplicação de herbicida (1x)	0,64	0,64	0,64						0,64
Plantio / adubação	1,92	1,04	1,04				1,04		
Capina mecânica (2x)		0,72	0,72			0,72			
Pulverização (2x)	1,28	1,28	1,28						1,28
Transporte interno	1,6	0,88	0,88						
Colheita mecânica		1							
Total de horas	6,64	12,84	11,84	3,92	2,64	0,72	1,04	0,72	1,92

Fonte: Capello, Menten e Manarin (2010)

ANEXO III – Dados relacionados à Mão-de-Obra

Tabela 7.6. contendo os valores percentuais referentes aos encargos trabalhistas referentes a cinco tipos de contratação de mão-de-obra

Provisionamentos e Encargos	Empregado rural (tempo indeterminado)	Empregado rural (tempo determinado)	Empregado rural (Contrato temporário)	Empregado rural (contrato safra)	Empregado rural (convecção/acordo coletivo)
Provisionamentos	32,89%	20,33%	20,33%	24,61%	28,89%
Férias 1/12 salário nominal	8,33%	8,33%	8,33%	8,33%	8,33%
Adicional de férias 1/12 de 1/3 salário nominal	2,78%	2,78%	2,78%	2,78%	2,78%
FGTS sobre adicional de férias 1/12 de 8% do adicional de férias	0,22%	0,22%	0,22%	0,22%	0,22%
13º salário 1/12 salário nominal	8,33%	8,33%	8,33%	8,33%	8,33%
FGTS sobre 13º salário 1/12 de 8% sobre salário nominal	0,67%	0,67%	0,67%	0,67%	0,67%
Aviso prévio 1/12 do salário nominal	8,33%	0,00%	0,00%	4,17%	8,33%
INSS sobre aviso prévio 1/12 de 2,7% sobre salário nominal	0,23%	0,00%	0,00%	0,11%	0,23%
FGTS multa rescisória 50% do FGTS (8,00%)	4,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Encargos	12,70%	12,70%	12,70%	12,70%	12,70%
Seguro de Acidente de Trabalho	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
Salário Educação	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%
Incrá	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%
FGTS	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%	8,00%
RESUMO					
Total Encargos e Provisionamentos normais	45,59%	33,03%	33,03%	37,31%	41,59%

Fonte: CONAB (2010)

10. APÊNDICES

APÊNDICE A – Custos de Insumos Agrícolas

Tabela 8.1. Custos Unitários e por hectares de Insumos Agrícolas categorizados pelo tipo

INSUMO	ESPECIFICAÇÃO	UND. MEDIDA	QTD VENDIDA (UNID. MEDIDA)	VALOR DE UMA UNID. DE MEDIDA (R\$)	CUSTO UNIT. (R\$)	QTD. RECOM. POR HA (UNID. MEDIDA)	CUSTO POR HECTARE (R\$)
Combustível	Diesel Comum	Litro	1,00	R\$ 2,25	R\$ 3,80	-	-
Combustível	Diesel S10	Litro	1,00	R\$ 2,45	R\$ 4,10	-	-
Lubrificante Motor	Óleo Lubrax Top Turbo 15w40 Ci-4 Diesel Galão 20 Litros	Litro	20,00	R\$ 349,90	R\$ 17,50	-	-
Lubrificante Motor	Óleo Lubrificante Max Turbo Diesel 15w40 Ch-4 Balde 20	Litro	20,00	R\$ 294,35	R\$ 14,72	-	-
Lubrificante Motor	Balde Oleo Motor Ipiranga Brutus 15w40 20l	Litro	20,00	R\$ 260,00	R\$ 13,00	-	-
Graxa	Graxa Marfak Mp2 Balde 10kg	Kg	10,00	R\$ 385,32	R\$ 38,53	-	-
Graxa	Graxa Para Chassis Alta Performance Worker 1kg Trator	kg	1,00	R\$ 32,50	R\$ 32,50	-	-
Graxa			1,00		-	-	-
Graxa			1,00		-	-	-
Herbicida Pré-Emergente	Roundup Ready	Litro	1,00	R\$ 22,80	R\$ 22,80	2,00	R\$ 45,60
Herbicida Pré-Emergente	2,4-D Amina	Litro	0,80	R\$ 35,00	R\$ 43,75	1,50	R\$ 65,63
Herbicidas Pré-Emergente	Roundup Transorb	Litro	2,00	R\$ 35,00	R\$ 17,50	1,50	R\$ 26,25
Herbicidas Pós-Emergente	Roundup Ready	Litro	2,00	R\$ 45,60	R\$ 22,80	2,00	R\$ 45,60
Herbicidas Pós-Emergente	Classic	Gramas	100,00	R\$ 28,00	R\$ 0,28	80,00	R\$ 22,40
Herbicidas Pós-Emergente	Cobra	Litro	1,50	R\$ 79,64	R\$ 53,09	0,75	R\$ 39,82
Herbicidas Pós-Emergente	Podium S	Litro	2,00	R\$ 83,60	R\$ 41,80	1,00	R\$ 41,80
Herbicida	Acert	Litro	1,00	R\$ 55,00	R\$ 55,00	0,90	R\$ 49,50

INSUMO	ESPECIFICAÇÃO	UND. MEDIDA	QTD VENDIDA (UNID. MEDIDA)	VALOR DE UMA UNID. DE MEDIDA (R\$)	CUSTO UNIT. (R\$)	QTD. RECOM. POR HA (UNID. MEDIDA)	CUSTO POR HECTARE (R\$)
Herbicida	Verdict	Litro	1,00	R\$ 91,00	R\$ 91,00	1,00	R\$ 91,00
Herbicida	Vezir	Litro	1,00	R\$ 25,00	R\$ 25,00	1,50	R\$ 37,50
Herbicida	Poquer	Litro	1,00	R\$ 130,00	R\$ 130,00	1,50	R\$ 195,00
Herbicida	Glifosato	Litro	1,00	R\$ 16,70	R\$ 16,70	3,00	R\$ 50,10
Herbicida	Imazetapir	Litro	1,00	R\$ 75,00	R\$ 75,00	1,00	R\$ 75,00
Herbicida	Propaquizafope	Litro	1,00	R\$ 55,00	R\$ 55,00	0,45	R\$ 24,75
Herbicida	Ácido Pirolenhoso	Litro	1,00	R\$ 7,00	R\$ 7,00	1,00	R\$ 7,00
Gesso Agrícola	Gesso Agrícola / Tonelada	Kg	1000,00	R\$ 140,00	R\$ 0,14	300,00	R\$ 42,00
Calcário	Cálcario Calcítico	Kg	1000,00	R\$ 150,00	R\$ 0,15	3300,00	R\$ 495,00
Calcário	Cálcario Magnesiano	Kg	1000,00		-		-
Calcário	Cálcario Dolomítico	Kg	1000,00	R\$ 80,00	R\$ 0,08	3300,00	R\$ 264,00
Calcário	Cálcario Filler	Kg	1000,00	R\$ 1,00	R\$ 0,00		-
Fósforo	Fósforo/Tonelada	Kg	1000,00	R\$ 780,00	R\$ 0,78	180,00	R\$ 140,40
Fungicidas Tratam. Sementes	Derosal Plus	Litro	5,00	R\$ 24,75	R\$ 4,95	130,00	R\$ 643,50
Fungicidas Tratam. Sementes	Carbendazin AG 500SC	Litro	5,00	R\$ 13,30	R\$ 2,66	130,00	R\$ 345,80
Fungicidas Tratam. Sementes	Maxim XL	Litro	5,00	R\$ 67,95	R\$ 13,59	65,00	R\$ 883,35
Fungicidas Tratam. Sementes	Captan 480 SC	Litro	5,00	R\$ 13,40	R\$ 2,68	162,50	R\$ 435,50
Fungicidas	Azimut	Litro	1,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00	0,60	R\$ 48,00
Fungicidas	Fertilizante Biológico Serenade	Litro	1,00	R\$ 269,90	R\$ 269,90	4,00	R\$ 1.079,60
Fertilizante	Fomulado NPK 04.30.10 + FTE	Kg	1000,00	R\$ 1.498,33	R\$ 1,498	350,00	R\$ 524,42
Fertilizante	Fomulado NPK 02.20.18 + FTE	Kg	1000,00	R\$ 1.445,00	R\$ 1,45	150,00	R\$ 216,75
Fertilizante	Foliar (Mn+S+Zn)	Kg	1,00	R\$ 28,00	R\$ 28,00	0,08	R\$ 2,24
Sementes	SEMENTE DE SOJA BMX APOLO RR DON MARIO 5.8I	Kg	40	R\$ 373,04	R\$ 9,33	65	R\$ 606,19
Sementes	SEMENTE DE SOJA W 870	Kg	40	R\$ 373,04	R\$ 9,33	65	R\$ 606,19
Sementes	SEMENTE DE SOJA W 799 RR	Kg	40	R\$ 373,04	R\$ 9,33	65	R\$ 606,19
Sementes	INTACTA RR2 PRO	Kg	1	-	-	65	-

APÊNDICE B – Atributos e Parâmetros dos Cenários

Tabela 8.2. Composição dos Cenários de Custos de Safra combinado aos sistemas de plantio, tipos de irrigação e suas respectivas produtividades, custos de produção e rendimento/hectares

CENÁRIO	DESCRIÇÃO	PRODUTIVIDADE (SC/HA)	CUSTO TOTAL PRODUÇÃO (R\$/HA)	QTD. NECESSÁRIA DE CULTIVARES PARA PLANTIO (KG/HA)
1	SPD, SEM IRRIG, SOJA CONVENCIONAL	41,3	R\$ 2.996,05	35,5
2	SPD, SEM IRRIG, TRANSGÊNICA	43,5	R\$ 3.104,07	45,5
3	SPD, IRRIG. 48,65 CV (Moto-Bomba) 200 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	61,25	R\$ 3.496,00	35,5
4	SPD, IRRIG. 61,32 CV (Moto-Bomba) 238 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	75,5	R\$ 3.589,01	35,5
5	SPD, IRRIG. 92,34 CV (Moto-Bomba) 354 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	80	R\$ 3.682,02	35,5
6	SPD, IRRIG. 48,65 CV (Moto-Bomba) 200 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	64,5	R\$ 3.604,02	45,5
7	SPD, IRRIG. 61,32 CV (Moto-Bomba) 238 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	70,25	R\$ 3.697,03	45,5
8	SPD, IRRIG. 92,34 CV (Moto-Bomba) 354 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	80,5	R\$ 3.790,04	45,5
9	SCPS, SEM IRRIG, SOJA CONVENCIONAL	43,5	R\$ 3.145,85	35,5
10	SCPS, SEM IRRIG, TRANSGÊNICA	45,6	R\$ 3.259,27	45,5
11	SCPS, IRRIG. 48,65 CV (Moto-Bomba) 200 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	65,25	R\$ 3.645,80	35,5
12	SCPS, IRRIG. 61,32 CV (Moto-Bomba) 238 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	70,5	R\$ 3.738,81	35,5
13	SCPS, IRRIG. 92,34 CV (Moto-Bomba) 354 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	80,25	R\$ 3.831,82	35,5
14	SCPS, IRRIG. 48,65 CV (Moto-Bomba) 200 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	67,50	R\$ 3.759,22	45,5
15	SCPS, IRRIG. 61,32 CV (Moto-Bomba) 238 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	75,50	R\$ 3.852,23	45,5
16	SCPS, IRRIG. 92,34 CV (Moto-Bomba) 354 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	81,50	R\$ 3.945,24	45,5

Tabela 8.3. Composição dos Cenários de safra combinado aos sistemas de plantio, tipos de irrigação relacionado ao número total de dias do ciclo produtivo e o número de dias necessários de irrigação

CENÁRIO	DESCRIÇÃO	NÚM. TOTAL DE DIAS DO CICLO DE ACORDO COM O CULTIVAR PLANTADO	ESTIMATIVA DA QTD. DE DIAS NECESSÁRIOS P/ IRRIGAÇÃO DA ÁREA DURANTE CICLO
1	SPD, SEM IRRIG, SOJA CONVENCIONAL	120	0
2	SPD, SEM IRRIG, TRANSGÊNICA	115	0
3	SPD, IRRIG. 48,65 CV (Moto-Bomba) 200 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	120	52
4	SPD, IRRIG. 61,32 CV (Moto-Bomba) 238 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	120	52
5	SPD, IRRIG. 92,34 CV (Moto-Bomba) 354 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	120	52
6	SPD, IRRIG. 48,65 CV (Moto-Bomba) 200 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	115	50
7	SPD, IRRIG. 61,32 CV (Moto-Bomba) 238 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	115	50
8	SPD, IRRIG. 92,34 CV (Moto-Bomba) 354 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	115	50
9	SCPS, SEM IRRIG, SOJA CONVENCIONAL	120	0
10	SCPS, SEM IRRIG, TRANSGÊNICA	115	0
11	SCPS, IRRIG. 48,65 CV (Moto-Bomba) 200 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	120	57
12	SCPS, IRRIG. 61,32 CV (Moto-Bomba) 238 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	120	57
13	SCPS, IRRIG. 92,34 CV (Moto-Bomba) 354 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA CONVENCIONAL	120	57
14	SCPS, IRRIG. 48,65 CV (Moto-Bomba) 200 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	115	55
15	SCPS, IRRIG. 61,32 CV (Moto-Bomba) 238 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA	115	55
16	SCPS, IRRIG. 92,34 CV (Moto-Bomba) 354 MM/CICLO (Lâmina de irrigação), SOJA TRANSGÊNICA, ...	115	55

Tabela 8.4. Funções de restrição por cenários de custos produtivos de safra, para demanda hídrica em função da disponibilidade dos equipamentos

CENÁRIO	NECESSIDADE HÍDRICA (LITROS/HA) PARA IRRIG. DURANTE TODO CICLO	VAZÃO PROJETADA POR EQUIPAMENTO PARA TODOS OS DIAS IRRIG. CICLO (LITROS)	QTOS. DE PIVÔS À SEREM UTILIZADOS EM TODA A ÁREA DA DIMENSÃO DEFINIDA	FUNÇÃO DE RESTRIÇÃO PARA DEMANDA HÍDRICA PARA RENDIMENTO MÁXIMO EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE DOS EQUIPAMENTOS
1	0,00	0,00	0	
2	0,00	0,00	0	
3	3.033.333,33	237.346.200,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (3033333,33 * X3) + (0 * X4) + (0 * X5) + (3043478,26 * X6) + (0 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (3325000 * X11) + (0 * X12) + (0 * X13) + (3347826,09 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 0$
4	3.033.333,33	281.867.040,00	1	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (3033333,33 * X4) + (0 * X5) + (0 * X6) + (3043478,26 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (3325000 * X12) + (0 * X13) + (0 * X14) + (3347826,09 * X15) + (0 * X16) \leq 281.867.040,00$
5	3.033.333,33	420.070.560,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (0 * X4) + (3033333,33 * X5) + (0 * X6) + (0 * X7) + (3043478,26 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (0 * X12) + (3325000 * X13) + (0 * X14) + (0 * X15) + (3347826,09 * X16) \leq 0$
6	3.043.478,26	228.217.500,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (3033333,33 * X3) + (0 * X4) + (0 * X5) + (3043478,26 * X6) + (0 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (3325000 * X11) + (0 * X12) + (0 * X13) + (3347826,09 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 0$

7	3.043.478,26	271.026.000,00	1	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (3033333,33 * X4) + (0 * X5) + (0 * X6) + (3043478,26 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (3325000 * X12) + (0 * X13) + (0 * X14) + (3347826,09 * X15) + (0 * X16) \leq 271.026.000,00$
8	3.043.478,26	403.914.000,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (0 * X4) + (3033333,33 * X5) + (0 * X6) + (0 * X7) + (3043478,26 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (0 * X12) + (3325000 * X13) + (0 * X14) + (0 * X15) + (3347826,09 * X16) \leq 0$
9	0,00	0,00	0	
10	0,00	0,00	0	
11	3.325.000,00	260.167.950,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (3033333,33 * X3) + (0 * X4) + (0 * X5) + (3043478,26 * X6) + (0 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (3325000 * X11) + (0 * X12) + (0 * X13) + (3347826,09 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 0$
12	3.325.000,00	308.969.640,00	1	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (3033333,33 * X4) + (0 * X5) + (0 * X6) + (3043478,26 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (3325000 * X12) + (0 * X13) + (0 * X14) + (3347826,09 * X15) + (0 * X16) \leq 308.969.640,00$
13	3.325.000,00	460.461.960,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (0 * X4) + (3033333,33 * X5) + (0 * X6) + (0 * X7) + (3043478,26 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (0 * X12) + (3325000 * X13) + (0 * X14) + (0 * X15) + (3347826,09 * X16) \leq 0$
14	3.347.826,09	251.039.250,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (3033333,33 * X3) + (0 * X4) + (0 * X5) + (3043478,26 * X6) + (0 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (3325000 * X11) + (0 * X12) + (0 * X13) + (0 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 251.039.250,00$

				$X13) + (3347826,09 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 0$
15	3.347.826,09	298.128.600,00	1	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (3033333,33 * X4) + (0 * X5) + (0 * X6) + (3043478,26 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (3325000 * X12) + (0 * X13) + (0 * X14) + (3347826,09 * X15) + (0 * X16) \leq 298.128.600,00$
16	3.347.826,09	444.305.400,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (0 * X4) + (3033333,33 * X5) + (0 * X6) + (0 * X7) + (3043478,26 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (0 * X12) + (3325000 * X13) + (0 * X14) + (0 * X15) + (3347826,09 * X16) \leq 0$

Tabela 8.5. Funções de restrição por cenários de custos produtivos de safra, para demanda hídrica em função da quantidade de água outorgada pelos órgãos competentes

CENÁRIO	NECESSIDADE HÍDRICA (LITROS/HA) PARA IRRIG. DURANTE TODO CICLO	VAZÃO PROJETADA POR EQUIPAMENTO PARA TODOS OS DIAS IRRIG. CICLO (LITROS)	QTOS. DE PIVÔS A SEREM UTILIZADOS EM TODA A ÁREA DA DIMENSÃO DEFINIDA	FUNÇÃO DE RESTRIÇÃO PARA DEMANDA HÍDRICA PARA RENDIMENTO MÁXIMO EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE OUTORGADA PARA TODO CICLO
1	0,00	0,00	0	
2	0,00	0,00	0	
3	3.033.333,33	237.346.200,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (3033333,33 * X3) + (0 * X4) + (0 * X5) + (3043478,26 * X6) + (0 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (3325000 * X11) + (0 * X12) + (0 * X13) + (3347826,09 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 10.000.000$
4	3.033.333,33	281.867.040,00	1	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (3033333,33 * X4) + (0 * X5) + (0 * X6) + (3043478,26 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (0 * X12) + (0 * X13) + (0 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 281.867.040,00$

				$\begin{aligned} & X8) + (0 * X9) + (0 * X10) \\ & + (0 * X11) + (3325000 * \\ & X12) + (0 * X13) + (0 * \\ & X14) + (3347826,09 * \\ & X15) + (0 * X16) \leq \\ & 10.000.000 \end{aligned}$
5	3.033.333,33	420.070.560,00	0	$\begin{aligned} & (0 * X1) + (0 * X2) + (0 * \\ & X3) + (0 * X4) + \\ & (3033333,33 * X5) + (0 * \\ & X6) + (0 * X7) + \\ & (3043478,26 * X8) + (0 * \\ & X9) + (0 * X10) + (0 * \\ & X11) + (0 * X12) + \\ & (3325000 * X13) + (0 * \\ & X14) + (0 * X15) + \\ & (3347826,09 * X16) \leq \\ & 10.000.000 \end{aligned}$
6	3.043.478,26	228.217.500,00	0	$\begin{aligned} & (0 * X1) + (0 * X2) + \\ & (3033333,33 * X3) + (0 * \\ & X4) + (0 * X5) + \\ & (3043478,26 * X6) + (0 * \\ & X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + \\ & (0 * X10) + (3325000 * \\ & X11) + (0 * X12) + (0 * \\ & X13) + (3347826,09 * \\ & X14) + (0 * X15) + (0 * \\ & X16) \leq 10.000.000 \end{aligned}$
7	3.043.478,26	271.026.000,00	1	$\begin{aligned} & (0 * X1) + (0 * X2) + (0 * \\ & X3) + (3033333,33 * X4) \\ & + (0 * X5) + (0 * X6) + \\ & (3043478,26 * X7) + (0 * \\ & X8) + (0 * X9) + (0 * X10) \\ & + (0 * X11) + (3325000 * \\ & X12) + (0 * X13) + (0 * \\ & X14) + (3347826,09 * \\ & X15) + (0 * X16) \leq \\ & 10.000.000 \end{aligned}$
8	3.043.478,26	403.914.000,00	0	$\begin{aligned} & (0 * X1) + (0 * X2) + (0 * \\ & X3) + (0 * X4) + \\ & (3033333,33 * X5) + (0 * \\ & X6) + (0 * X7) + \\ & (3043478,26 * X8) + (0 * \\ & X9) + (0 * X10) + (0 * \\ & X11) + (0 * X12) + \\ & (3325000 * X13) + (0 * \\ & X14) + (0 * X15) + \\ & (3347826,09 * X16) \leq \\ & 10.000.000 \end{aligned}$
9	0,00	0,00	0	
10	0,00	0,00	0	

11	3.325.000,00	260.167.950,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (3033333,33 * X3) + (0 * X4) + (0 * X5) + (3043478,26 * X6) + (0 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (3325000 * X11) + (0 * X12) + (0 * X13) + (3347826,09 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 10.000.000$
12	3.325.000,00	308.969.640,00	1	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (3033333,33 * X4) + (0 * X5) + (0 * X6) + (3043478,26 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (3325000 * X12) + (0 * X13) + (0 * X14) + (3347826,09 * X15) + (0 * X16) \leq 10.000.000$
13	3.325.000,00	460.461.960,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (0 * X4) + (3033333,33 * X5) + (0 * X6) + (0 * X7) + (3043478,26 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (0 * X12) + (3325000 * X13) + (0 * X14) + (0 * X15) + (3347826,09 * X16) \leq 10.000.000$
14	3.347.826,09	251.039.250,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (3033333,33 * X3) + (0 * X4) + (0 * X5) + (3043478,26 * X6) + (0 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (3325000 * X11) + (0 * X12) + (0 * X13) + (3347826,09 * X14) + (0 * X15) + (0 * X16) \leq 10.000.000$
15	3.347.826,09	298.128.600,00	1	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (3033333,33 * X4) + (0 * X5) + (0 * X6) + (3043478,26 * X7) + (0 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (3325000 * X12) + (0 * X13) + (0 * X14) + (3347826,09 * X15) + (0 * X16) \leq 10.000.000$

16	3.347.826,09	444.305.400,00	0	$(0 * X1) + (0 * X2) + (0 * X3) + (0 * X4) + (3033333,33 * X5) + (0 * X6) + (0 * X7) + (3043478,26 * X8) + (0 * X9) + (0 * X10) + (0 * X11) + (0 * X12) + (3325000 * X13) + (0 * X14) + (0 * X15) + (3347826,09 * X16) \leq 10.000.000$
----	--------------	----------------	---	---

APÊNDICE C – Declaração de Anuência do Professor

Declaração de anuência e assinatura do professor orientador de acordo com o modelo abaixo:

Eu, professor(a) *Kleber Carlos Ribeiro Pinto* , estou ciente e de acordo com o Projeto de Trabalho de Curso do discente *Flávio Henrique de Carvalho* sob minha orientação a ser entregue como avaliação da disciplina FAGEN31806 – Trabalho de Curso I.

Uberlândia, ____ / ____ de 2021

Assinatura do Orientador