

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Luana Freitas Knierim

**EMPREGO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ANÁLISE
HIERÁRQUICA (AHP) COMO APOIO A TOMADA DE DECISÃO NA
SELEÇÃO DE COLHEDORAS DE ARROZ IRRIGADO**

Santa Maria, RS
2021

Luana Freitas Knierim

**EMPREGO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)
COMO APOIO A TOMADA DE DECISÃO NA SELEÇÃO DE COLHEDORAS DE
ARROZ IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Airton dos Santos Alonço (Dr. Eng.)

Santa Maria, RS
2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Knierim, Luana

EMPREGO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA
(AHP) COMO APOIO A TOMADA DE DECISÃO NA SELEÇÃO DE
COLHEDORAS DE ARROZ IRRIGADO / Luana Knierim.- 2021.
66 p.; 30 cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. Multicritério 2. Análise Hierárquica 3.
Colhedoras de grãos 4. Agricultura 5. Tomada de decisão
I. dos Santos Alonço, Airton II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

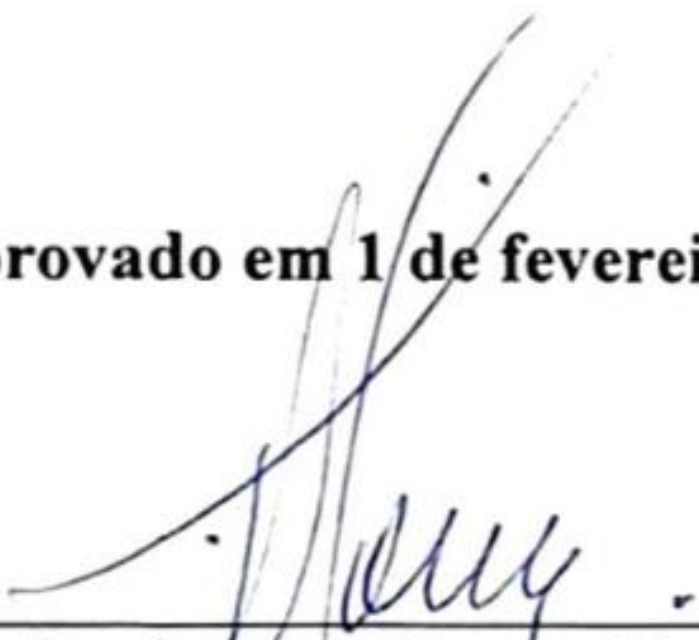
Declaro, LUANA KNIERIM, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Luana Freitas Knierim

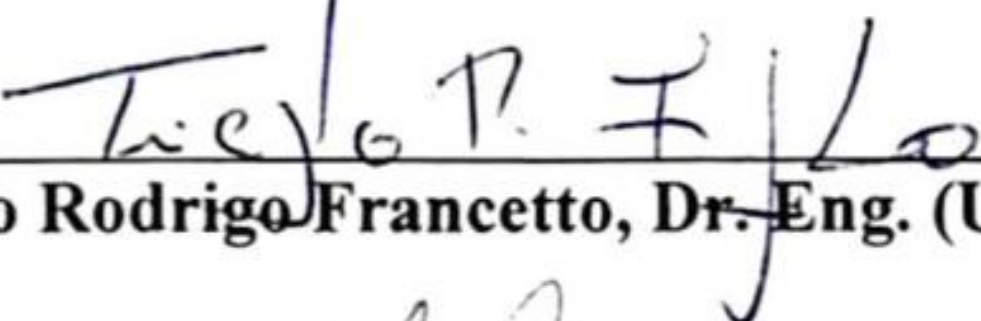
**EMPREGO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ANÁLISE HIERARQUICA (AHP)
COMO APOIO A TOMADA DE DECISÃO NA SELEÇÃO DE COLHEDORAS DE
ARROZ IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

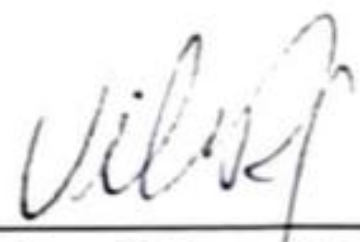
Aprovado em 1 de fevereiro de 2021



Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Tiago Rodrigo Francetto, Dr. Eng. (UFSM)



Vilnei de Oliveira Dias, Dr. Eng. (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS
2021

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, Elaine Terezinha e Luiz Fernando, por todo amor, incentivo e motivação de sempre.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Airton dos Santos Alonço, meu orientador, pela oportunidade de cursar o mestrado em Engenharia Agrícola sob sua orientação, pela amizade e por todos os ensinamentos partilhados durante esse tempo.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade e suporte financeiro.

Ao Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), pela infraestrutura e suporte na execução deste trabalho.

Ao Professor Tiago Francetto, pelo suporte no desenvolvimento do trabalho e por aceitar compor a banca examinadora.

Ao Professor Vilnei Dias, pela confiança, indicação, por aceitar compor a banca examinadora e pelas valiosas contribuições.

Aos professores do programa que de alguma forma contribuíram para minha formação e para o desenvolvimento deste trabalho.

A secretária do Programa, Luciana Nunes pelas orientações ao longo da pós-graduação.

Aos amigos e colegas do LASERG, Airton Alonço, Gessieli Possebom, Bruno Zart, Eder Pinheiro, Dauto Carpes, Henrique Eguilhor, Mayara Torres, Pablo Alonço, Rafael Becker, Romulo Bock, Tiago Francetto, Tiago Lopes e Vitor Scherer, pela amizade e companheirismo.

Aos meus pais, Fernando e Elaine e irmã, Liana, pelo apoio e incentivo.

A todas as pessoas citadas e a algumas não citadas aqui, mas que de alguma forma contribuíram para a conclusão desse trabalho, meu muito obrigada.

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!”

Mario Sergio Cortella

RESUMO

EMPREGO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ANÁLISE HIERARQUICA (AHP) COMO APOIO A TOMADA DE DECISÃO NA SELEÇÃO DE COLHEDORAS DE ARROZ IRRIGADO

AUTORA: Luana Freitas Knierim
ORIENTADOR: Airton dos Santos Alonço

Em um ambiente onde crescem cada vez mais os custos e investimentos, como é o caso do setor agrícola, decisões equivocadas podem levar desde a redução da rentabilidade do agronegócio, até danos irreversíveis ao mesmo. Dentro desta perspectiva, no que se refere a produção de arroz irrigado, as máquinas utilizadas para a colheita da cultura, demandam de um alto valor de aquisição, devido sobretudo, ao fato de comportar inúmeros mecanismos e tecnologias em sua composição. Desta forma, torna-se indispensável uma análise minuciosa de suas especificações por parte dos produtores, a fim de encontrar a máquina que melhor atenda às necessidades de sua propriedade. A partir dessa problemática, este trabalho teve como objetivo, viabilizar o uso do Método Multicritério de Análise Hierárquica, (AHP), como um processo de tomada de decisão, envolvendo múltiplos critérios, para a seleção de máquinas colhedoras de grãos, com base nas especificações técnicas mais pertinentes ao produtor de arroz irrigado (*Oryza Sativa L.*), da região central do estado do Rio Grande do Sul. Entre os métodos multicritérios, o AHP tem sido amplamente aplicado para análises de preferências em problemas complexos com vários critérios, por ser considerado de fácil utilização. O método proporciona um processo de decisão sistemático, usando vários critérios, com base nas preferências subjetivas dos tomadores de decisão. Desta forma, a partir de pesquisas sobre as especificações técnicas de colhedoras de grãos, retiradas de folhetos e *folders* das empresas fabricantes e com base nas necessidades qualitativas da cultura na região, foi possível realizar a sistematização dos modelos das máquinas. Para isso, as especificações foram consideradas como critérios, sendo posteriormente comparadas par a par, de acordo com o método proposto. A aplicação do método AHP permitiu hierarquizar os modelos de colhedoras de grãos, apresentando a alternativa “Colhedora 3” como a mais bem ranqueada, a partir das preferências do decisor nas comparações paritárias entre alternativas e critérios. O emprego da metodologia proposta apresentou resultados satisfatórios dentro do objetivo ao qual foi proposto. Contudo, a opinião de um único decisor, não se caracteriza como uma “verdade absoluta”, visto que existe um alto grau de subjetividade nestes julgamentos.

Palavras-chave: Critérios técnicos. Seleção de máquinas agrícolas. *Oryza Sativa L.*

ABSTRACT

EMPLOYMENT OF THE MULTICRITERY METHOD OF HIERARCHICAL ANALYSIS (AHP) AS A SUPPORT FOR DECISION-MAKING IN THE SELECTION OF IRRIGATED RICE HARVESTERS

AUTHOR: LUANA FREITAS KNIERIM
ADVISOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO

In an environment where costs and investments are growing more and more, as is the case in the agricultural sector, wrong decisions can lead from reducing the profitability of agribusiness, to irreversible damage to it. Within this perspective, when it comes to the production of irrigated rice, the machines used for harvesting the crop demand a high acquisition value, mainly due to the fact that they include numerous mechanisms and technologies in their composition. Thus, it is essential to have a thorough analysis of its specifications by the producers, in order to find the machine that best meets the needs of their property. Based on this problem, this study aimed to enable the use of the Multicriteria Hierarchical Analysis Method (AHP), as a decision-making process, involving multiple criteria, for the selection of grain harvesting machines, based on the specification's techniques most pertinent to the irrigated rice producer (*Oryza Sativa L.*), from the central region of the state of Rio Grande do Sul. Among the multicriteria methods, AHP has been widely applied for analysis of preferences in complex problems with several criteria, because it is considered easy to use. The method provides a systematic decision process, using various criteria, based on the subjective preferences of the decision makers. Thus, based on research on the technical specifications of grain harvesters, taken from leaflets and folders of the manufacturing companies and based on the qualitative needs of the culture in the region, it was possible to carry out the systematization of the models of the machines. For that, the specifications were considered as criteria, being subsequently compared pair by pair, according to the proposed method. The application of the AHP method allowed the hierarchical models of grain harvesters to be ranked, presenting the alternative "Harvester 3" as the best ranked, based on the decision maker's preferences in the parity comparisons between alternatives and criteria. The use of the proposed methodology presented satisfactory results within the objective to which it was proposed. However, the opinion of a single decision maker is not characterized as an "absolute truth", since there is a high degree of subjectivity in these judgments.

Keywords: Technical criteria. Selection of agricultural machinery. *Oryza Sativa L.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Primeira colhedora automotriz produzida no Brasil, SLC 65 ^a	18
Figura 2 – Esquema das funções realizadas por uma colhedora de grãos.....	19
Figura 3 – Representação da plataforma de corte e canal alimentador.....	20
Figura 4 – Sistema de trilha convencional.....	23
Figura 5 – Sistema de trilha axial.....	23
Figura 6 – Sistema de trilha híbrido.....	24
Figura 7 – Esquema do sistema de limpeza.....	25
Figura 8 – Estrutura hierárquica do AHP.....	31
Figura 9 – Representação das marcas de colhedoras de grãos por meio de folhetos. a) Case; b) Massey Ferguson; c) John Deere; d) Valtra; e) New Holland.....	37
Figura 10 – Critérios e os fatores de análise utilizados na tomada de decisão.....	40
Figura 11 – Estruturação dos critérios em modo hierárquico.....	41
Figura 12 – Gráfico de Prioridades Médias Locais para o critério: Preço.....	48
Figura 13 – Prioridades Médias Locais para o critério motor.....	49
Figura 14 – Relação entre a área total de limpeza, rotação do ventilador e PML's.....	51
Figura 15 – Relação entre a capacidade do tanque graneleiro, a taxa de descarga e PML's para o critério Manuseio de grãos.....	52
Figura 16 – Prioridades Médias Globais dos Critérios.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre os métodos multicritérios de Tomada de Decisão.....	29
Tabela 2 – Escala fundamental para julgamentos comparativos.....	32
Tabela 3 – Colhedoras de grãos disponíveis no mercado nacional no ano de 2020.....	37
Tabela 4 – Classificação das colhedoras de grãos em Classes de Potência.....	38
Tabela 5 – Especificações técnicas dos critérios da alternativa: Colhedora 1.....	42
Tabela 6 – Especificações técnicas dos critérios da alternativa: Colhedora 2.....	42
Tabela 7 – Especificações técnicas dos critérios da alternativa: Colhedora 3.....	43
Tabela 8 – Especificações técnicas dos critérios da alternativa: Colhedora 4.....	43
Tabela 9 – Escala Fundamental do AHP simplificada.....	44
Tabela 10 – índice Randômico.....	46
Tabela 11 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Preço.....	47
Tabela 12 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Motor.....	48
Tabela 13 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Corte e Alimentação.....	50
Tabela 14 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Trilha e separação.....	50
Tabela 15 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Sistema de Limpeza.....	51
Tabela 16 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Manuseio de Grãos.....	52
Tabela 17 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Transmissão de força.....	53
Tabela 18 – Matriz de Comparações Pareadas dos critérios.....	53
Tabela 19 – Prioridades Médias Locais (PML's) e Prioridades Globais (PG).....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
FAO	Organização das Nações para Alimentação e Agricultura
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IC	Índice de Consistência
IR	Índice de Consistência Randômico
IRGA	Instituto Riograndense do Arroz
LASERG	Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
MMAD	Método Multicritério de Apoio a decisão
PML's	Prioridades médias locais
PG	Prioridades globais
RC	Razão de Consistência
TDP	Tomada de Potência
UPA	Unidade de Pronto Atendimento
VP	Vetor Prioridade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	HIPÓTESES	14
1.2	OBJETIVO GERAL.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO.....	16
2.2	COLHEITA DE GRÃOS	17
2.2.1	Função e constituição das colhedoras grãos.....	19
2.2.1.1	Sistema de Corte e Alimentação	20
2.2.1.2	Sistema de Trilha e separação	22
2.2.1.3	Sistema de Limpeza.....	25
2.2.1.4	Sistema de Transporte e Armazenamento	26
2.2.2	Mercado de colhedoras no brasil	26
2.3	MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO (MMAD).....	28
2.3.1	Método de Análise Hierárquica.....	30
2.3.2	Aplicações consolidadas do método AHP.....	33
3	METODOLOGIA	36
3.1	LOCAL.....	36
3.2	BANCO DE DADOS DE COLHEDORAS.....	36
3.3	AHP: UM MODELO ESTRUTURAL PARA TOMADA DE DECISÃO	38
3.3.1	Escolha das Alternativas	38
3.3.2	Identificação das características relevantes em colhedoras de grãos para a cultura do arroz irrigado.	39
3.3.3	Estruturação dos critérios em forma de árvore.....	40
3.3.4	Elucidação das preferências do tomador de decisão:.....	44
3.3.5	Consistência dos julgamentos.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1	COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS À LUZ DOS CRITÉRIOS E CÁLCULO DAS PRIORIDADES MÉDIAS LOCAIS (PML'S)	47
4.2	COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS À LUZ DAS ALTERNATIVAS E CÁLCULO DAS PRIORIDADES MÉDIAS LOCAIS (PML'S).....	53
4.3	CÁLCULO DAS PRIORIDADES GLOBAIS.....	54
4.4	VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS JULGAMENTOS	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
6	CONCLUSÃO.....	59
7	REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

O setor orizícola é um ambiente onde os custos e investimentos tornam-se cada vez mais ascendente e, por esse motivo, decisões equivocadas podem provocar desde a redução da rentabilidade do empreendimento até o seu revés. De acordo com dados da safra 19/20 no estado do Rio Grande do Sul, o custo médio ponderado do saco de arroz em casca foi de R\$ 64,70, considerando todas as fases da produção (IRGA, 2020). Isto se deve principalmente, ao fato de que alguns processos como irrigação, secagem e aviação tiveram um aumento de custos significativo em relação a safra anterior.

As máquinas e implementos utilizados na produção do arroz irrigado são bastante específicos para a cultura e carecem de um alto capital investido, principalmente no que se refere a aquisição desses equipamentos. Por esse motivo, é importante ter assertividade na tomada de decisão, dado impacto que tal feito pode causar a médio ou a longo prazo.

Dentre as etapas do cultivo da cultura, a colheita dos grãos é considerada como uma das fases mais importantes e onerosas da produção no campo. Devendo ser realizada quando a cultura atinge o ponto de maturação e umidade adequadas, a fim de manter a qualidade dos grãos. Desta forma, a mecanização do processo viabiliza que a colheita seja realizada no seu período ideal e ainda possibilita a expansão de áreas agricultáveis.

A utilização de colhedoras com tecnologias mais avançadas na colheita da cultura do arroz irrigado, viabiliza não só a redução da mão de obra, como também, o aumento da eficiência das operações, proporcionando uma maior qualidade com valor agregado ao grão. Por esse motivo, a utilização de colhedoras apropriadas a cada sistema de produção, é primordial para o êxito da produção agrícola.

Em inúmeras ocasiões, o produtor sente uma certa dificuldade ao definir um modelo de máquina compatível às características inerentes ao seu sistema de produção, como por exemplo, infraestrutura, topografia, dimensões das áreas e seu poder aquisitivo (SILVA et al., 2007). Nesta ótica, por tratar-se de uma máquina que requer um grande investimento, fica visível a relevância de dominar os fundamentos do processo decisório para alcançar os resultados almejados. De acordo com Veiga (2000), a quantidade de modelos de máquinas no mercado e os custos desses equipamentos, tornam a seleção desses sistemas uma atividade bastante complexa.

Para a seleção de uma colhedora deve-se levar em consideração tanto requisitos quantitativos, como qualitativos. Nesse contexto, em problemas de decisão complexos, em geral, diversos critérios podem ser fundamentais para uma seleção final entre diferentes

alternativas. O ponto mínimo de custo é determinado por uma série de fatores relacionados com o tamanho dos equipamentos e com a pontualidade na realização das operações, devendo ser uma busca contínua pelo gestor do empreendimento (EDWARDS, 2001).

Um dos métodos mais utilizados como auxílio na tomada de decisão é conhecido como Análise de Decisão Multicritério que, a partir da modelagem matemática, contribui para solucionar problemas nos quais existem diversos objetivos a serem atingidos simultaneamente (LEITE e FREITAS, 2012). Dentre os modelos de tomada de decisão multicritério, é importante destacar o Método de Análise Hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*), que é fundamentado na segmentação do problema de decisão, em níveis hierárquicos, para melhor compreensão e avaliação do objetivo. Além disso, o método AHP tem sido amplamente aplicado para análises de preferências, em problemas complexos com vários critérios, por ser considerado como um método de fácil utilização.

Para a escolha da máquina de colheita ideal, os modelos de colhedoras foram considerados como as alternativas e suas especificações como os critérios. Desta maneira, com a utilização do método, é possível priorizar as características dos modelos de máquinas mais relevantes ao sistema produtivo de cada produtor, e assim, escolher a colhedora de grãos mais adequada às suas necessidades.

1.1 HIPÓTESES

A partir das dificuldades encontradas, por parte dos produtores de arroz irrigado, em adquirir uma máquina de colheita adequada ao seu sistema produtivo e tendo definido o objetivo geral, é possível enunciar as hipóteses deste trabalho:

I. Se os produtores de arroz irrigado da região, encontram dificuldades para selecionar tecnicamente a colhedora de grãos mais adequada ao sistema de produção, seja por falta de conhecimento ou informação sobre o produto, então o método multicritério AHP lhes dará suporte nessa tomada de decisão.

II. Se o método AHP é utilizado como apoio multicritério à decisão, é capaz de incorporar em sua análise, tanto critérios quantitativos como qualitativos, então será um método eficiente na tomada de decisão para a seleção de colhedoras de arroz irrigado, em relação às suas características.

1.2 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho teve como objetivo geral, viabilizar o uso do método AHP, em um processo de tomada de decisão, envolvendo múltiplos critérios, para a seleção de máquinas colhedoras de arroz irrigado, por meio da comparação e hierarquização de suas características e especificações técnicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO

O arroz (*Oryza Sativa L.*) é uma planta da família das gramíneas, considerado pela Organização Mundial para Alimentação e Agricultura (FAO) como um dos alimentos mais importantes para a alimentação humana, visto que alimenta mais da metade da população mundial. É considerado o terceiro cereal mais produzido no mundo, ficando atrás apenas das culturas de milho e de trigo, respectivamente.

Cerca de 70% do arroz produzido no mundo é cultivado com irrigação que utiliza recursos substanciais de água doce. Especialmente nos países asiáticos, onde aproximadamente 90% da produção mundial é consumida (GIRSANG et al., 2020). No Brasil, a safra 2019/2020, alcançou o número de 11 milhões de toneladas, com um crescimento de 6,5% em relação à safra anterior (CONAB, 2020). O que confere ao país, um papel importante no fornecimento do produto, tanto ao mercado interno quanto ao mercado externo.

De acordo com os dados da Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB, 2020), o Rio Grande do Sul é considerado como o celeiro brasileiro do arroz, com mais de 56% de área cultivada e 70,8% da produção brasileira. Ainda de acordo com a Conab (2020), os estados brasileiros que detém as maiores produções desse cereal são Santa Catarina com 10,8%, Tocantins com 5,9%, Mato grosso com 3,6% e Maranhão com 1,4%, respectivamente.

O estado do Rio Grande do Sul possui cerca de 140 municípios produtores de arroz, onde a região da Fronteira Oeste caracteriza-se como a maior região produtora desses grãos (DALCIN, 2017). Em relação aos sistemas de cultivo, o estado destaca-se pelas grandes áreas, com a predominância da sistematização da lavoura em taipas, no qual o irrigante posiciona a água no ponto mais alto do terreno e a conduz por gravidade aos pontos inferiores (NUNES, 2015). O sistema de cultivo na lavoura de arroz determina a época de início e do fim da irrigação, assim como o manejo e uso da água. Dentre os sistemas existentes, no Rio Grande do Sul, os mais conhecidos são o sistema convencional, cultivo mínimo, plantio direto e pré-germinado (SOSBAI, 2014).

Para acompanhar o crescimento populacional e sua demanda por alimentos nos últimos anos, tornou-se necessário o processo de mecanização na agricultura. Visto que a mecanização do sistema viabiliza que os processos da produção, como por exemplo, a colheita, seja realizada no seu período ideal, e ainda, possibilita a expansão de áreas agricultáveis (BOTTEGA et al., 2015).

Segundo Fontana et al. (2004), a colheita é considerada como uma das operações mais importantes do processo de produção no campo, devido sobretudo, ao seu alto valor agregado. Dentre as etapas da produção do arroz irrigado, a colheita apresenta-se como uma das fases mais importantes, pois envolve operações que influenciam na qualidade e quantidade de grãos colhidos (FRANCO et al., 2004).

A última etapa da produção de arroz no campo deve ser realizada com muita prudência, levando em conta todos os fatores que possam influenciar nas perdas, desde a plataforma até os mecanismos internos da colhedora (DALCIN, 2017). Além disso, para garantir que os investimentos durante a produção sejam revertidos em lucro, a colheita deve ser realizada dentro dos mais altos padrões de qualidade e eficiência (MENEZES et al., 2018).

2.2 COLHEITA DE GRÃOS

O processo de colheita de grãos compreende várias etapas. A primeira envolve o ato de cortar a planta, seguido da trilha, da remoção da palha e, por último, da separação do grão trilhado do restante da planta. A colheita de grãos pode ser realizada de três diferentes formas: totalmente manual, ou seja, realizada a partir de serviços manuais, demandando basicamente de mão-de-obra humana (SILVA et al., 2001); de forma semimecanizada, a partir do uso em conjunto de serviços manuais e maquinários (as debulhadoras manuais e as trilhadoras estacionárias podem ser utilizadas na etapa da trilha); de forma totalmente mecanizada, podendo ser realizada por uma ou mais máquinas. A escolha desses equipamentos depende do grau de mecanização permitido pela cultura, das condições de relevo da propriedade e dos fatores econômicos do cliente (LIMA, 2008).

Existem basicamente três tipos de colheita mecanizada: a mecanizada indireta, onde são utilizados despigadores de arrasto ou automotriz e trilhadoras estacionárias; a mecanizada direta, que é realizada com a utilização de colhedoras combinadas semi-montadas com plataformas despigadoras acionadas pela tomada de potência (TDP) do trator; as colhedoras combinadas autopropelidas, que realizam todos os processos em apenas uma só máquina.

De acordo com Carpanezzi et al. (2016), há mais ou menos 50 anos foi produzida a primeira colhedora automotriz no Brasil. O lançamento da colhedora SLC modelo 65-A, fabricada em Horizontina, foi realizado no dia 5 de novembro de 1965 (Figura 1). A produção brasileira de colhedoras nessa época, foi basicamente na região Sul em virtude da expansão da produção de soja e trigo (JACTO, 2018). Tendo um grande incentivo nos anos 70, com a expansão das exportações de grãos.

Figura 1 – Primeira colhedora automotriz produzida no Brasil, SLC 65^a.



Fonte: John Deere.

A evolução das colhedoras de grãos ao longo dos anos, se deu sobretudo, ao desenvolvimento e investimentos em pesquisas e projetos nessa área, com o objetivo de sempre aumentar o desempenho, a capacidade e a qualidade dos grãos colhidos (STEINKE, 2019).

Em razão da demanda do setor agrícola, as colhedoras modernas e com um maior desempenho, apresentam vantagens em sua utilização, já que reduzem o período de colheita, tornando o processo mais rápido (STEINKE, 2019). Essas máquinas possuem uma certa versatilidade, pois a partir de algumas configurações, são capazes de colher mais de um tipo de grão. As colhedoras de grãos são consideradas máquinas agrícolas que melhoram a eficiência da colheita e reduzem os custos de mão de obra (FU et al., 2018).

De acordo com De Moraes et al. (1996), a colhedora de grãos, é considerada como uma fábrica móvel de mais de 35 mil partes, uma maravilha da engenharia e da tecnologia de produção. A afirmação acima reflete a importância da colhedora autopropelida para o sucesso na agricultura e a complexidade envolvida tanto no seu funcionamento como no seu projeto e desenvolvimento.

Diante da crescente evolução do mercado de máquinas, as indústrias fabricantes de colhedoras de grãos desenvolvem constantemente equipamentos mais tecnológicos competitivos, para tornar o processo de colheita mais eficiente (MAZETTO, 2008). Com o surgimento de novas tecnologias dia a dia, é importante automatizar abordagens eficientes para o trabalho que geralmente depende da habilidade e experiência desenvolvidas ao longo do

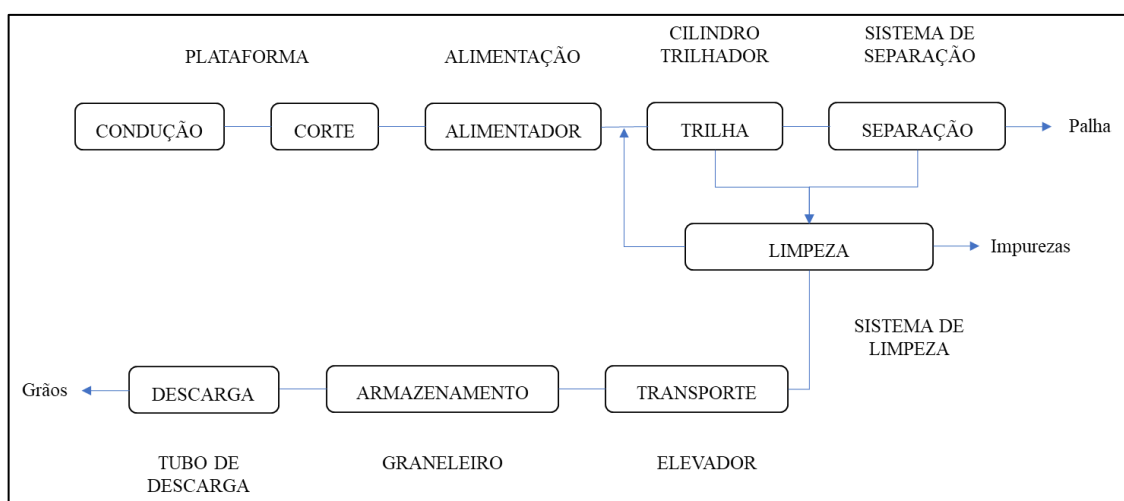
tempo, a fim de simplificar a entrada de potenciais e jovens agricultores na agricultura (KURITA et al., 2012).

De acordo com Cassia et al. (2015), na operação da colheita as regulagens das colhedoras devem ser dinâmicas, para que não prejudiquem diretamente na qualidade da operação e dos grãos colhidos. A regulagem da máquina deve ser adequada a cultura, o teor de água do grão, a velocidade da colhedora e a finalidade dos grãos (CHIODEROLI et al., 2011). Além disso, a fim de obter um desempenho satisfatório da colhedora de grãos, reduzir as perdas e colher grãos de qualidade, o agricultor deve fazer a programação da colheita de grãos, a partir do planejamento de implantação da cultura (MANTOVANI, 2015).

2.2.1 Função e constituição das colhedoras grãos

É denominado como colhedora combinada ou automotriz, a máquina que é capaz de efetuar todas as operações do processo de colheita (Figura 2). Ao passo que, considera-se como colheita mecanizada, o processo que é constituído por uma sequência de quatro etapas, sendo elas: o corte, a trilha, a separação e a limpeza dos grãos, as quais são executadas por apenas um operador em uma mesma máquina (BOTTEGA et al., 2015). Para que essas funções sejam realizadas de maneira correta, os mecanismos pertencentes a estas máquinas devem ser ajustadas no momento da colheita, de acordo com a cultura a ser colhida, a fim de diminuir perdas e manter a qualidade dos grãos colhidos (PORTELLA, 2000).

Figura 2 – Esquema das funções realizadas por uma colhedora de grãos.



Fonte: Adaptado de SRIVASTAVA et al. (1993).

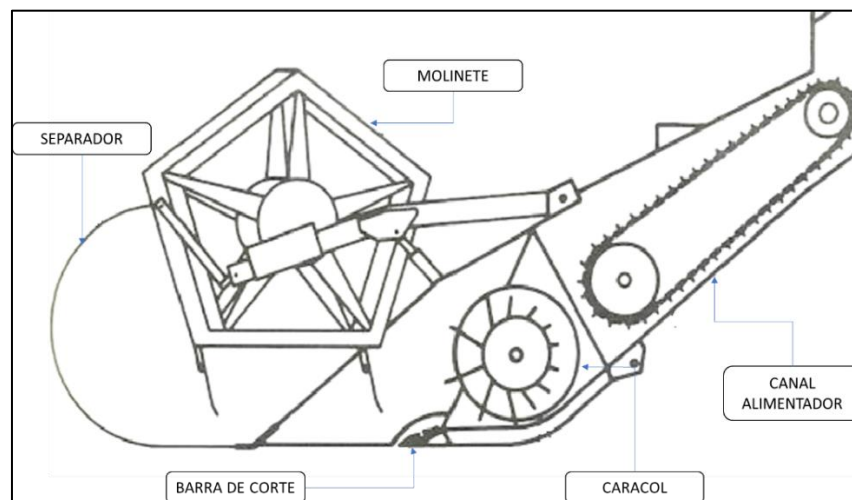
A colhedora de grãos tem a função de colher e debulhar as plantações, separar, limpar e armazenar os grãos colhidos, com o mínimo de perdas possível (CHEN et al., 2017). De acordo com Aguero et al., (2017), a utilização de colhedoras gera perdas qualitativas e quantitativas no produto final, ocasionando a diminuição da sua rentabilidade. No entanto, para Bock et al. (2020), com a devida manutenção das partes constituintes da máquina, as perdas podem ser parcialmente evitadas, proporcionando uma redução nos custos de produção e consequentemente aumentando os lucros da atividade.

2.2.1.1 Sistema de Corte e Alimentação

O corte e a alimentação são funções desempenhadas pela plataforma de corte e pelo canal alimentador respectivamente, onde as plantas são cortadas e transportadas até o elevador de palha para entregar o material colhido ao sistema de trilha (MAZETTO 2008).

A plataforma mais indicada para a colheita da cultura do arroz irrigado é do tipo rígida, pois o corte é realizado logo abaixo das panículas, distantes do solo (DALCIN, 2017). De acordo com Balastreire, (2005), os principais componentes da plataforma de corte são: os separadores, o molinete, a barra de corte e o condutor (Figura 3). É na plataforma de corte, onde os mecanismos que a compõem, tem a função de cortar, recolher e levar a cultura até a unidade de trilha.

Figura 3 – Representação da plataforma de corte e canal alimentador.



Fonte: Adaptado de Massey Ferguson (1987).

No Brasil são fabricados atualmente plataformas de até 45 pés. De acordo com Portella, (2000), as plataformas podem ser classificadas como rígidas (não apresenta movimento relativo ao longo do seu comprimento), flexíveis (acompanha as ondulações da superfície do solo) ou flutuantes (quando mantêm um paralelismo em relação ao solo).

As plataformas flexíveis podem executar movimentos de inclinação, subida e descida de acordo com a topografia do terreno onde atuam. De acordo com Molin (2010), essas plataformas são utilizadas principalmente na colheita de leguminosas, as quais são colhidas rentes ao solo. A principal vantagem da utilização de plataformas flexíveis é a capacidade de trabalhar nas mais variadas irregularidades do solo e oferecem alta produtividade apesar das condições adversas do solo (POTT et al., 2019).

Segundo Gharakhani et al., (2017), um dos maiores empecilhos das barras de corte, é o efeito prejudicial das pedras em suas lâminas, as quais são muito piores durante a colheita de plantas de porte pequeno. Para Bock et al. (2020), as perdas na plataforma são influenciadas pela velocidade de deslocamento da máquina.

O primeiro mecanismo da máquina a entrar em contato com a cultura é chamado de separador, o qual possui a função de separar a faixa da lavoura que será colhida pela plataforma de corte no decorrer da passada da máquina. De acordo com Balastreire (1987), esses divisores laterais, são muito importantes, principalmente em culturas acamadas, entrelaçadas ou com excesso de ervas daninhas, uma vez que separam a faixa a ser cortada evitando perdas na operação de corte.

Já o molinete, constitui-se de um rotor com aproximadamente a mesma largura que a plataforma, providos de barras com dentes, dispostas paralelamente ao eixo de rotação. De acordo com Moraes et al. (2005), tem por função, levar as plantas de encontro a barra de corte, conduzir a planta já cortada para dentro da plataforma e de levantar as culturas acamadas.

A barra de corte da plataforma é formada por uma navalha, dedos duplos, placa de apoio, placa de desgaste, grampos e barra guia (MANTEUFEL, 2012). A navalha é composta por uma barra com facas rebitadas, onde na extremidade uma rótula esférica para ligação com a biela, a qual recebe o movimento alternativo de um volante com uma manivela (BALASTREIRE, 1987).

Nas colhedoras convencionais, o caracol é responsável por levar as plantas cortadas até o centro da plataforma. No entanto, existem atualmente, as plataformas do tipo Draper que possuem a mesma finalidade que o caracol. Gobbi et al. (2014), afirmam que as plataformas constituídas com esteira transportadora Draper, proporcionam um melhor desempenho da colhedora de soja em relação à plataforma convencional. A plataforma Draper promove um

ritmo maior na colheita, com uma alimentação mais suave e constante, a debulha torna-se mais eficiente e os custos de manutenção reduzem-se significativamente (FAGANELO et al., 2015).

O canal alimentador é a última parte que compõe os mecanismos da plataforma, sua função principal é transportar a planta por meio de uma esteira alimentadora e também, por fixar a plataforma ao restante da máquina. Para Faganello et al. (2015), nas colhedoras combinadas, esse sistema nada mais é do que uma esteira transportadora composta por correntes longitudinais, com pequenos sarrafos transversais que arrastam o material, conduzindo ao mecanismo de trilha.

2.2.1.2 Sistema de Trilha e separação

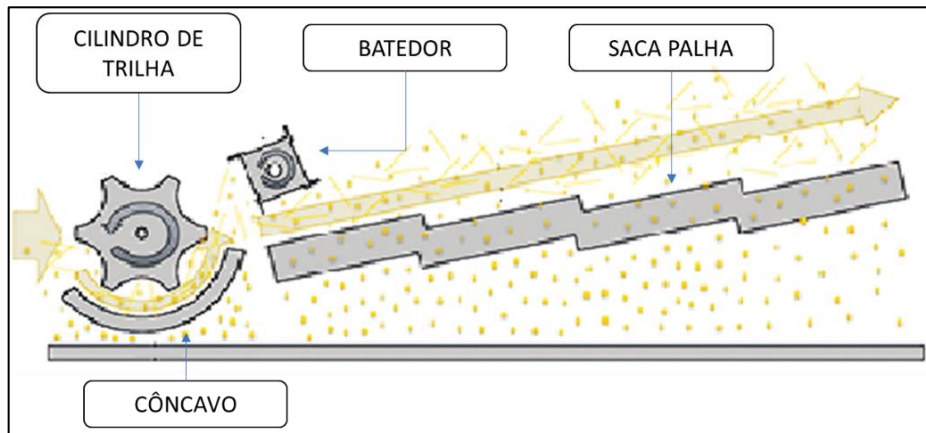
As operações desenvolvidas na unidade de trilha e separação são responsáveis por destacar os grãos, separando-os dos restos da cultura (MORAES et al., 2005). Segundo Faganello et al. (2015), o ato de trilhar, significa remover os grãos dos legumes, das espigas ou das panículas, como no caso da soja, do trigo, do arroz e do milho, por exemplo. É nessa fase que mais de 70% dos grãos são separados, e os 30% restantes são separados pelas demais unidades da máquina.

Para Castro e Ferreira (2007), as colhedoras de grãos possuem basicamente três tipos de mecanismos de trilha, sendo eles: cilindro de dentes e côncavo, cilindro de barras e rotor axial. A ação de trilhar pode ser executada por batidas (cilindro e côncavo de dentes), para colheitas de arroz, de feijão e de sorgo, ou por fricção (cilindro e côncavo de barras), para colheitas de trigo, de aveia, de soja e de milho (FAGANELO et al., 2015).

De acordo Cunha et al. (2009), para a colheita grãos existem, no mercado, máquinas providas de sistema de trilha tangencial, também conhecidas como convencionais ou radiais, com cilindro e côncavo transversais; e as colhedoras de fluxo axial, em que o rotor e côncavo em geral, estão posicionados longitudinalmente à máquina. Existem três tipos de sistemas de trilha: tangencial ou convencional, axial e um terceiro, que é basicamente a combinação dos dois primeiros, conhecido como sistema híbrido.

De acordo com Manteufel (2012), no cilindro de barras existem cinco ou seis falanges sobre as quais são rebitadas as barras, construídas em aço com ranhuras. Já o côncavo, é composto por barras lisas, dispostas em pé no sentido do cilindro (CASTRO e FERREIRA, 2007). O cilindro de trilha tangencial pode ser visto na Figura 4 abaixo.

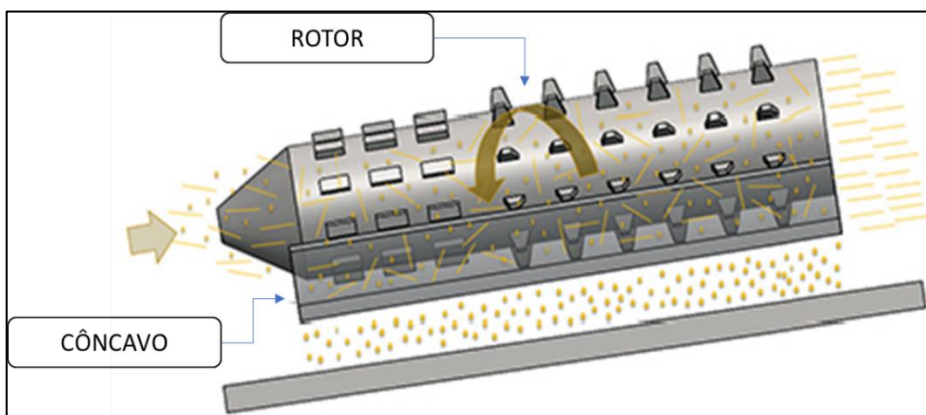
Figura 4 – Sistema de trilha convencional.



Fonte: Adaptado de SANTOS e DALLMEYER (2018).

As colhedoras de sistema axial, possuem um único mecanismo capaz de exercer a trilha e separação do material, denominado como rotor axial (Figura 5). Neste mecanismo, a massa de grãos ao ser recolhida pela plataforma é levada para o cilindro tangencial, o qual possui a função de alimentar o rotor. Na trilha de fluxo radial, o produto passa uma única vez entre uma parte móvel, ou seja, no rotor e uma vez na parte fixa, o côncavo. Nesse sistema mais utilizado por colhedoras de arroz, o cilindro é formado por duas falanges laterais, nas quais estão rebitadas barras providas de dentes. O côncavo por sua vez, é constituído por uma chapa curva perforada, o qual cobre um quarto da circunferência do cilindro do sistema (MANTEUFEL, 2012).

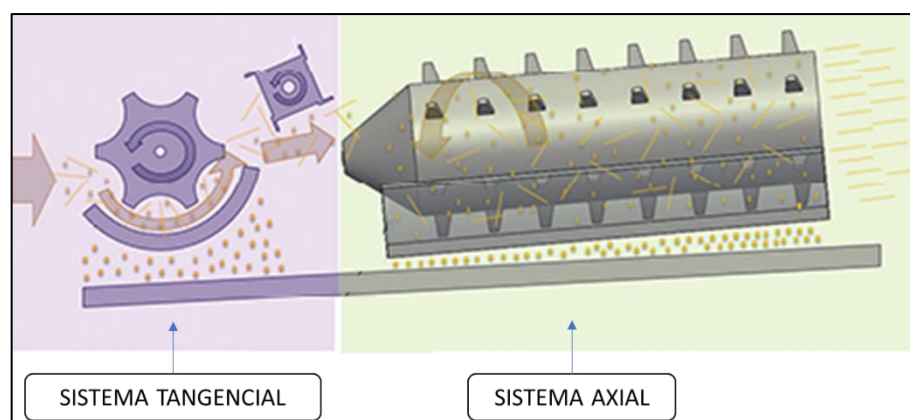
Figura 5 – Sistema de trilha axial.



Fonte: Adaptado de SANTOS e DALLMEYER (2018).

As máquinas utilizadas na colheita de grãos mais modernas possuem um o sistema híbrido de trilha, com partes do sistema tangencial e partes do sistema axial proporcionando uma maior eficiência e reduzindo as perdas. As colhedoras híbridas são a combinação do sistema axial e tangencial, onde a trilha é realizada com o batedor (típico do sistema tangencial) e o atrito (usado no sistema axial) de forma conjunta (SANTOS, 2018). O rotor separador tem a função de agitar a palha e separar os grãos através de força centrípeta e da gravidade (SANTOS e DALLMEYER, 2014). Os rotores são posicionados longitudinalmente, como pode ser observado na figura abaixo (Figura 6).

Figura 6 – Sistema de trilha híbrido.



Fonte: Adaptado de SANTOS e DALLMEYER (2018).

O funcionamento do sistema de trilha ocorre da seguinte forma: O cilindro de trilha impulsiona e transporta a massa vegetal no espaço de trilha (entre o cilindro e o côncavo), para que aconteça a separação dos grãos do resto das plantas (IVAN et al., 2014). Após passar pelo sistema de trilha, o produto restante ainda está composto por palhas inteiras e trituradas, grãos debulhados e não debulhados e matérias estranhas. Por esse motivo, existe a necessidade de separar os grãos dos demais materiais.

A separação começa a ser realizada na grade do côncavo, nas grades do cilindro e no saca-palhas (FAGANELO et al., 2015). Uma separação eficiente de palha, com dano mínimo ao grão e a remoção de matérias indesejáveis, proporciona ganhos substanciais no rendimento dos grãos (MAHIRAH et al., 2017). Nessa etapa podem ocorrer perdas tanto na qualidade quanto na quantidade de grãos, já que, em maiores velocidades de deslocamento, o fluxo de materiais no interior da máquina é mais acentuado, fazendo com que os mecanismos da

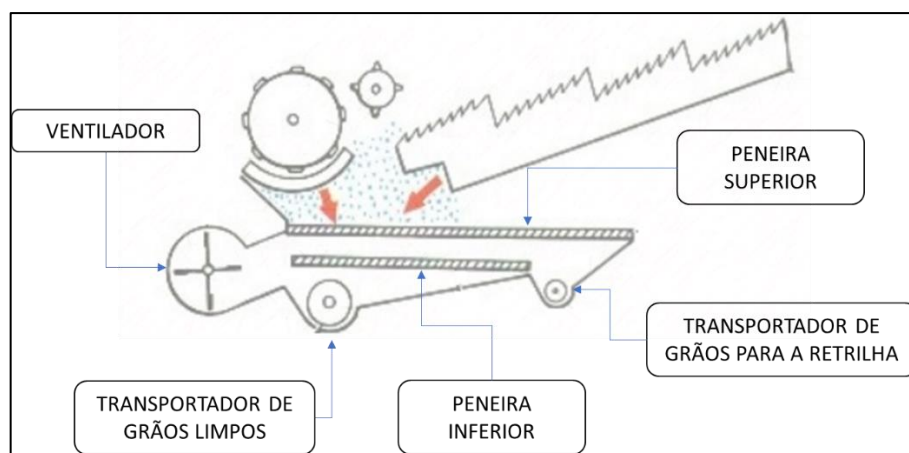
colhedora processem o grão e a palha de maneira mais rápida da sua capacidade (ALONÇO et al., 2002).

2.2.1.3 Sistema de Limpeza

A maior parte dos grãos passam pela abertura do côncavo e são encaminhados para o sistema de limpeza, que através de peneiras e ventilação realiza a remoção de impurezas. O restante dos grãos, ao passar pelo sistema de trilha é encaminhado pelo côncavo até o batedor, que impulsiona o material para o sistema de separação, que é constituído pelo saca-palhas (TOLEDO et al., 2008). O saca-palhas é constituído por seções independentes em forma de calha, apoiadas em duas árvores de manivelas, as quais, realizam movimentos rotativos alternados e assim, conduzem o material grosso para fora da colhedora e os grãos para o sistema de limpeza (PORTELLA, 2000).

Depois de passar pelo sistema de trilha e separação, os grãos e as impurezas devem ser levados ao sistema de limpeza da máquina (Figura 7), sendo por gravidade ou por meio de um transportador. De acordo com Aldoshin, & Lylin (2018), a colhedora de grãos foi projetada para destacar os grãos de pequeno porte e separar as impurezas em duas frações principais: resíduos de grãos e palha. Os principais mecanismos de limpeza nas colhedoras são a peneira superior, a peneira inferior e o ventilador (MASSEY FERGUSON, 1987). Em algumas colhedoras a rotação do ventilador é fixa e, para variar o fluxo de ar, basta fechar ou abrir a sua saída de ar (FAGANELO et al., 2015).

Figura 7 – Esquema do sistema de limpeza.



2.2.1.4 Sistema de Transporte e Armazenamento

No sistema de transporte das colhedoras, os grãos passam por diferentes setores da máquina, onde são realizadas as operações de trilha, separação, limpeza, retrilha, armazenamento e descarregamento. Os grãos limpos são transportados até o sistema de armazenamento, em um tanque e os não trilhados seguem para a retrilha.

De acordo com Santos (2018), o armazenamento acontece após a limpeza, onde os grãos são direcionados a um elevador que os conduzem ao tanque graneleiro. Após o tanque atingir sua capacidade máxima é realizado a descarga dos grãos através do tubo de vazão. O tanque de grãos é a unidade de armazenamento dos grãos limpos (JOHN DEERE, 2003).

2.2.2 Mercado de colhedoras no Brasil

A produtividade das culturas cresce a cada ano e as máquinas utilizadas para colhê-las evoluem a mesma medida. Passamos a produzir no Brasil, as maiores colhedoras do mercado mundial e com a mesma tecnologia das produzidas lá fora. Com a internacionalização da indústria, atualmente as grandes fabricantes de tratores do mundo, também comandam o mercado brasileiro de colhedoras.

Um fator importante nas colhedoras de grãos, é o seu alto custo de aquisição, este, que é baseado principalmente de acordo com as suas funções e dispositivos tecnológicos. Assim, a definição de informações, sobre as necessidades da produção, torna-se de vital importância para a tomada de decisão, pois é um elemento de diminuição de custos e aumento da lucratividade, que é o objetivo principal de toda e qualquer atividade econômica (ARTUZO et al., 2015).

Uma forma de analisar as características tecnológicas, empregadas a essas máquinas, seria o coeficiente tecnológico, o qual poderá ser utilizado por produtores rurais no momento de aquisição dessas máquinas (BEDIM, 2011). E será através deste, que poderão escolher com base científica, a colhedora mais adequada a sua propriedade, levando em conta os requisitos necessários a tecnologia de aplicação da mesma.

Além das características, que compõem os modelos de colhedoras particulares ao sistema produtivo de cada agricultor, outro fator que deve ser levado em consideração na hora da aquisição dessas máquinas, é o setor de pós-vendas das concessionárias. Em razão de um ótimo funcionamento das colhedoras e, conseqüentemente, a preservação da qualidade dos grãos, devem ser realizadas revisões e manutenções periódicas nas máquinas. Pois, de acordo

com Menezes et al., 2018, é imprescindível que a colheita seja de alta qualidade e eficiente a fim de assegurar que os investimentos durante a produção sejam convertidos em lucro.

Em um estudo de mercado, é possível observar que existe uma grande variedade de máquinas de colheita disponíveis, entretanto, há uma certa dificuldade no acesso das informações referentes de suas funcionalidades técnicas. Os catálogos e folhetos são as principais fontes de informação das características que compõem os modelos. No entanto, são confeccionados com poucas informações, o que dificulta a tomada de decisão na hora de aquisição, por parte dos produtores, tornando necessário uma consulta mais aprofundada com vendedores e especialistas dessas máquinas.

De acordo com Peche Filho, (1996) no caso das semeadoras, os principais itens para orientação no processo de escolha e seleção são: a eficiência, o avanço tecnológico, as facilidades operacionais e de manutenção, peças e assistência técnica. O que se assemelha quando o assunto são as colhedoras de grãos, onde um dos itens mais importantes é o avanço tecnológico, o qual reflete o grau de desenvolvimento de cada componente da máquina.

À medida que a agricultura cresce, as demandas por informações tecnológicas também crescem, principalmente no que se refere à escolha de bens de capital, como é o caso de colhedoras de grãos. A dificuldade encontrada pelos agricultores para adequar as máquinas ao seu sistema de produção é devida a deficiência de informações nos catálogos técnicos (STOLF, 1990).

De acordo com Silva et al. (2007), alguns trabalhos realizados no Brasil, na área de máquinas agrícolas, objetivaram levantar informações e gerar indicadores de forma a auxiliar e facilitar a análise tecnológica dos produtos, pelos usuários. No caso das colhedoras, a análise tecnológica é realizada através dos itens como, eficiência, sistema de alimentação, sistema de trilha e separação, facilidade de operação, necessidade de manutenção, entre outros. O estudo é baseado na avaliação do nível de tecnologia disponível nos componentes, por meio da análise de livros técnicos da área, artigos científicos, normas e revistas aliados as informações contidas em catálogos e manuais de fabricantes das máquinas (SILVA et al., 2007).

Existem estudos que comparam informações contidas em catálogos disponibilizados pelos fabricantes com medições a campo. Machado et al. (2007), verificou que as informações em relação a força de tração exigidas para tracionar equipamentos de semeadura direta fornecidos pelos fabricantes de semeadoras não são confiáveis, visto que, superestimam os valores determinados a campo.

2.3 MÉTODO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO (MMAD)

Os métodos de tomada de decisão com múltiplos atributos são empregados em vários trabalhos de pesquisa, como auxílio na identificação da melhor alternativa a partir de um conjunto de escolhas (RAMNATH e HARISHSHARRAN, 2020). Durante a década de 60, os métodos de análise multicritério tiveram uma evolução significativa, surgindo em várias escolas de pesquisadores, com várias técnicas novas e diferentes atitudes de apoio aos novos modos de tomar decisões (GONÇALVES et al., 2003).

Com a concessão de um valor numérico às qualidades ou as características de uma máquina, é possível realizar uma análise como se a variável fosse quantitativa. Desta forma, os dados obtidos através da combinação de elementos, possibilitam a comparação de valores e podem ser expressos por meio de coeficientes (BELLOCHIO, 2018). Um coeficiente trata-se da razão entre a quantidade de determinada ocorrência pelo número total de ocorrências de uma mesma categoria (BUSSAB e ORETTIN, 2017). De acordo com Bellochio (2018), é possível analisar que a utilização de coeficientes e índices são usuais e eficazes na análise de atributos técnicos, onde o coeficiente pode ser utilizado para variáveis de uma mesma categoria.

A complexidade decorrente do aumento do número de informações e da necessidade de utilizá-las no processo decisório fez com que surgissem novos métodos para alcançar a maior assertividade nas tomadas de decisões (BRIOZO e MUSETTI 2015). Nesse sentido, os métodos multicritérios de tomada de decisão, surgiram como um mecanismo de apoio, visto que são caracterizados como ferramentas matemáticas eficazes para resolução de problemas onde existem critérios conflitantes (BRANS e MARESCHAL, 2005).

A teoria de análise de decisão possibilita a estruturação de um problema que envolve a tomada de decisão baseada em uma série de aspectos. No entanto, uma das dificuldades ainda encontradas nesse processo, decorre de que o problema é analisado por um grupo de pessoas com opiniões distintas, como um comitê ou um conjunto de sócios de uma empresa (COSTA e BELDERRAIN, 2009).

Os métodos multicritério mais amplamente usados incluem o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), a teoria da utilidade multicritério, a teoria de superação e a programação de metas. Entre os listados acima, o AHP tem sido amplamente aplicado para análise de preferências em problemas complexos de múltiplos critérios (GHOBADI et al., 2017).

Guglielmetti, Marins e Salomon (2003) avaliaram alguns MMAD de acordo com determinadas características de desempenho, como pode se observar na tabela 1 apresentada abaixo.

Tabela 1 – Comparação entre os métodos multicritérios de Tomada de Decisão.

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO	AHP	MAHP	ELECTRE
Utilização em decisões com vários níveis	SIM	SIM	NÃO
Restrições a quantidade de elementos de um nível	SIM	NÃO	NÃO
Necessidade de processar os dados antes de seu uso	NÃO	SIM	SIM
Permite tratar dados quantitativos e qualitativos	SIM	SIM	SIM
Problemas com alocação em conjunto	NÃO	NÃO	NÃO
Ranking completo de alternativas	SIM	SIM	
Permite avaliação de coerência dos julgamentos	SIM	NÃO	NÃO
Necessidade de um especialista no método utilizado	MÉDIA	ALTA	MÉDIA
Permissão para a participação de mais de uma pessoa na decisão	SIM	SIM	SIM
Quantidade de aplicações práticas	ALTA	ALTA	BAIXA
Número de publicações científicas	ALTA	BAIXA	MÉDIA
Disponibilidade de software para download gratuito	SIM	NÃO	NÃO
Nível de compreensão conceitual e detalhado do modelo	ALTA	MÉDIA	BAIXA
Nível de compreensão referente a forma de trabalho	ALTA	ALTA	BAIXA

Fonte: Adaptado de Guglielmetti et. al (2003).

A partir das informações contidas na Tabela 1, é notório que o método ELECTRE possui várias restrições, comparado ao AHP que se destaca principalmente pelas características relacionadas à interface Tomador de Decisão X Método. Vale salientar que devido a referida importância atribuída as informações da Tabela supracitada, tais elementos consideradas para o desenvolvimento desse trabalho, conforme item 3.3.1 - AHP: Um modelo estrutural para tomada de decisão.

Nesse contexto, de acordo com os critérios mencionados, o método Analytic Hierarchy Process (AHP) possui vários atributos desejáveis para a realização do estudo proposto como: a) é um processo de decisão estruturado que pode ser documentado e repetido; b) é aplicável a situações que envolvem julgamentos subjetivos; c) utiliza tanto dados quantitativos como qualitativos; d) provê medidas de consistência das preferências; e) há uma ampla documentação sobre suas aplicações práticas na literatura acadêmica; f) seu uso apropriado para grupos de decisão.

Isto tudo permitiu o desenvolvimento de métodos quantitativos multicritérios de apoio a tomada de decisão, como o AHP, desenvolvido por Thomas A Saaty em 1980 (COSTA e BELDERRAIN, 2009). Este método permite a combinação de critérios significativos para a tomada de decisão, tornando capaz a compreensão das dimensões do problema, quando levado em consideração as preferências do decisor.

2.3.1 Método de Análise Hierárquica

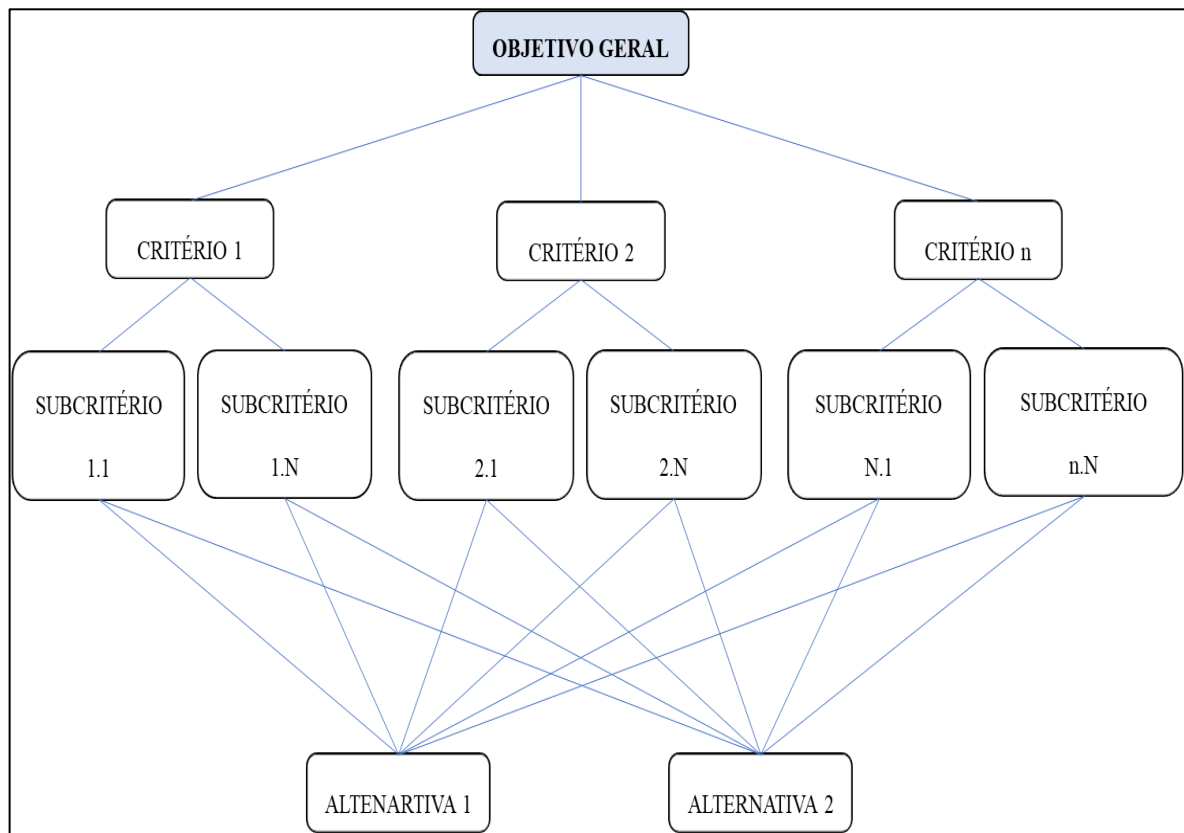
O Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - AHP) é um dos primeiros e mais utilizados métodos de apoio multicritério à decisão. Foi elaborado no ano de 1980 por Thomas Saaty, e pode ser aplicado em diversas áreas do conhecimento, dado o seu caráter de integrar em sua análise critérios quantitativos e qualitativos (COSTA e BALDERRAIN, 2009).

De acordo com Marins et al. (2009), a ferramenta fundamenta-se no método newtoniano e cartesiano de pensar, que procura tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, claros e dimensionáveis e estabelecendo relações para depois sintetizar. Deste modo, conforme Costa (2002), o método se baseia em três etapas: construção de hierarquias, definição de prioridade e consistência lógica.

Segundo Wernke e Bornia (2001), o método possui três fundamentos principais: a construção de hierarquias (quando o problema é decomposto em níveis hierárquicos), o estabelecimento de prioridades (comparação par a par dos elementos a luz de um determinado objetivo) e consistência lógica (onde é possível avaliar, em termos de sua consistência, o modelo de priorização), conforme descritos a seguir:

- *Construção de Hierarquias:* Neste método, o problema é estruturado em níveis hierárquicos, com o objetivo de facilitar o seu entendimento (MARINS et al., 2009). No primeiro nível se encontra o objetivo principal do problema, seguido dos critérios e alternativas, respectivamente (Figura 8). Deste modo, é proporcionado ao decisor, uma melhor visualização do problema, tornando-o de mais fácil compreensão.

Figura 8 – Estrutura hierárquica do AHP



Fonte: Adaptado de Saaty, 1990.

- *Definição de Prioridades*: Nesta etapa, a partir de um objetivo final específico, é realizada a seguinte sequência de passos:

✓ A comparação em pares de critérios, ou seja, são julgados par a par os elementos de um nível da hierarquia em relação ao que cada elemento tem em conexão com o nível superior, compondo desta forma, as matrizes de julgamento. De acordo com Costa & Bederrain (2009), a comparação par a par é feita para critérios homogêneos, ou seja, que possuem o mesmo nível hierárquico. Cada elemento da hierarquia, é associado um valor de prioridade em relação ao outro, a luz de um determinado critério com a utilização da Tabela 2, elaborada por Tomas Saaty (1990).

Tabela 2 – Escala fundamental para julgamentos comparativos.

Intensidade	Definição	Explicação
1	Igual importância	Ambos os elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	Experiência e juízo favorecem levemente uma atividade com a relação à outra
5	Importância grande ou essencial	Experiência e juízo favorecem fortemente uma atividade com relação a outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida, sendo sua dominância evidenciada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma das duas é a maior possível, com o mais alto grau de segurança
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Recíprocos dos números acima	Se a atividade i possui um dos números acima, quando comparada com a atividade j, a atividade j possuirá o valor inverso quando comparada a i.	Uma consideração razoável

Fonte: Saaty (1990).

As preferências são organizadas em forma de matrizes quadradas, onde os elementos dessa matriz decisão definem quantas vezes uma alternativa é mais ou menos importante que a outra. Para Trevizano e Freitas (2005), a quantidade de julgamentos necessários para a construção de uma matriz de julgamentos genérica A é $n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos pertencentes a esta matriz. Os elementos A são definidos pelas condições:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{2n} \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1 \end{bmatrix}$$

onde: $a_{ij} > 0 =$ Positiva

$$a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} = \text{Recíproca}$$

$$a_{ik} = a_{ik} \cdot a_{jk} = \text{Consistência}$$

- ✓ Assim, cada elemento ij a do vetor linha da matriz de decisão representa a dominância da alternativa A_i sobre a alternativa A_j ;
- ✓ Na diagonal principal, verifica-se o preenchimento com o valor 1, dado que qualquer critério comparado a ele próprio possui a mesma importância na Escala Fundamental;
- ✓ Normalização das matrizes de julgamento: obtenção de quadros normalizados através da soma dos elementos de cada coluna das matrizes de julgamento e posterior divisão de cada elemento destas matrizes pelo somatório dos valores da respectiva coluna;
- ✓ Cálculo das prioridades médias locais (PML's): as PML's são as médias das linhas dos quadros normalizados;
- ✓ Cálculo das prioridades globais: nesta etapa deseja-se identificar um vetor de prioridades global (PG), que armazene a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal.
 - *Consistência Lógica*: O método possibilita, por meio da proposição de índices, julgar a consistência da definição de prioridades, ou seja, é capaz de comprovar ou não, a consistência dos julgamentos (COSTA e BELDERRAIN, 2009). De acordo com Saaty (2000), o ser humano é capaz de estabelecer relações entre ideias de formas que elas sejam coerentes, se relacionem-se bem entre si. Assim, o método AHP propõe:
- ✓ Calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por $RC = IC/IR$, onde IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e gerada aleatoriamente.
- ✓ O Índice de Consistência (IC) é dado por $IC = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$, onde λ_{\max} é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$

2.3.2 Aplicações consolidadas do método AHP

Existem atualmente inúmeros trabalhos científicos com a utilização da metodologia de multicritério como apoio a tomada de decisão. Desta maneira, são citados a seguir, alguns trabalhos relevantes em diferentes áreas da pesquisa.

Kursunoglu et al. (2020), a fim de selecionar um tipo específico de ácido para a dissolução de metais de minerais nas operações de lixiviação, utilizou o método AHP apoiado pela utilização do software ExpertChoice® 2000. Inúmeros fatores são levados em consideração, o que torna a escolha, uma atividade complexa. Com a utilização do método, o autor foi capaz de alcançar o objetivo almejado. Os resultados demonstraram que o ácido sulfúrico é o tipo de ácido mais desejável com uma classificação de 0,541, superior aos demais.

Guo e Kapuco (2020), elaboraram um trabalho com a utilização do método, com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade social de um terremoto, a partir de um estudo de caso na cidade de Hanzhong, na China. Os critérios foram avaliados pelo método AHP e mostraram a distribuição espacial da vulnerabilidade social e alguns fatores-chave que contribuem para isso. O método apresentou algumas limitações, assim o refinamento com o Analytic Network Process, uma generalização do AHP com feedback para ajustar os pesos, foi a solução.

Alves e Alves (2014), realizaram um trabalho com a utilização do método multicritério AHP, com o objetivo de escolher uma localidade para a instalação de uma fábrica do segmento automotivo. Para a realização do trabalho intitulado como “Definição de localidade industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP)”, foram consideradas seis localidades, com cinco critérios cada e pelo menos dois subcritérios. Após a realização de um estudo de caso, seguido da aplicação do método e validação da consistência de valores atribuídos nas comparações paritárias, o autor validou a alternativa indicada. Resultando na indicação da melhor alternativa de localização para a instalação da nova fábrica, em função dos critérios previamente estabelecidos.

Granemann e Gartner (1998), elaboraram um trabalho sob o título “Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: uma aplicação do método de Análise Hierárquica (AHP)”, para a escolha de financiamento para aquisição de aeronaves. Para isso, foi realizado a comparação paritária entre sete critérios, com três subcritérios cada um. Neste trabalho, o método AHP demonstrou ser indicado para problemas que envolvem variáveis qualitativas e quantitativas.

Briozo e Musetti (2015), através do trabalho “Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 hr”, teve como objetivo escolher a localidade para a implantação de uma UPA, onde os autores realizaram a comparação paritária dos critérios, a partir do software *Expert Choice 11*. A prefeitura disponibilizou seis alternativas de terrenos, onde cinco funcionárias da saúde participaram da pesquisa. O método atingiu o objetivo de ranquear os locais, dando embasamento para o gestor tomar sua decisão.

Trevizano e Freitas (2005), utilizaram o método multicritério AHP, para a escolha de um processador de computador, no trabalho que tem como título “Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores”. Para isso foram considerados cinco critérios. Os julgamentos de preferência foram obtidos a partir da opinião de um único especialista. A partir da verificação da consistência dos dados, pode-se concluir que metodologia empregada, apresentou resultados satisfatórios.

Costa e Moll (1999), com o objetivo de realizar o processo decisório no problema de seleção de variedades de cana-de-açúcar, realizou o trabalho intitulado como “Emprego do método de análise hierárquica (AHP) na seleção de variedades para o plantio de cana-de-açúcar”. Para tanto, os autores apresentam três alternativas e envolvem a análise de desempenho das espécies viáveis à luz de diferentes aspectos ou critérios. A metodologia proposta comportou-se estritamente como uma ferramenta de Auxílio à Decisão, na qual não se elimina a figura do gerente agrícola como elemento decisor.

Macedo e Corrar (2010), no trabalho “Análise do Desempenho Contábil-Financeiro de Seguradoras no Brasil no Ano de 2007: um Estudo Apoiado em Análise Hierárquica (AHP)”, tiveram como objetivo analisar o desempenho contábil-financeiro no setor brasileiro de seguradoras, aplicando o método AHP. As alternativas eram 73 seguradoras. De cada uma das seguradoras foram extraídos dados secundários. No total tinha-se 14 variáveis. A metodologia foi capaz de analisar de forma multicriterial a performance das seguradoras, consolidando os fatores em apenas um indicador.

3. METODOLOGIA

Em termos reais, a abordagem proposta neste trabalho não se destina propriamente a auxiliar usuários comuns na compra de colhedoras. Particularmente, esta abordagem se propõe a fornecer informações fundamentais na análise multicritério a pessoas de razoável conhecimento de máquinas para a colheita. Desta forma, é apresentado um experimento ilustrativo que se propõe a empregar o método de Análise Hierárquica (AHP) no tratamento de um problema decisório sob múltiplos critérios, cujo objetivo principal consiste na seleção de uma máquina colhedora de arroz irrigado, para as condições de produção da região Central do estado do Rio Grande do Sul.

3.1 LOCAL

O método foi proposto e aplicado nas instalações do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), vinculado a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), situada na cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, cuja localização geográfica corresponde às seguintes coordenadas: Latitude Sul 29°72'05", Longitude Oeste -53°70'32", com altitude variando entre 90 e 120 metros acima do nível do mar.

3.2 BANCO DE DADOS DE COLHEDORAS

Primeiramente foram identificadas as colhedoras de grãos disponíveis atualmente no mercado brasileiro de máquinas agrícolas e suas respectivas características técnicas. Essa etapa foi caracterizada pela identificação dos fabricantes de colhedoras de grãos, a partir da busca por catálogos, manuais e folders das máquinas ofertadas no mercado nacional no ano de 2020. O levantamento de informações foi realizado por meio de visitas a feiras de exposição de máquinas agrícolas, como Expodireto e Expointer, busca na internet e consulta bibliográfica.

Atualmente o mercado brasileiro de colhedoras de grãos é constituído por cinco marcas comerciais, sendo elas: Case, Massey Ferguson, John Deere, Valtra e New Holland (Figura 9).

Figura 9 – Representação das marcas de colhedoras de grãos por meio de folhetos. a) Case; b) Massey Ferguson; c) John Deere; d) Valtra; e) New Holland.



Fonte: Autor.

As informações foram organizadas em um arquivo Excel, denominado como Banco de Dados de Colhedoras de Grãos 2020, que serviu como apoio e suporte para o desenvolvimento deste trabalho. A fabricante New Holland possui oito modelos, sendo a fabricante que conta com a maior diversidade de modelos do mercado nacional. Enquanto a John Deere e Case, dispõe de sete modelos de colhedoras de grãos cada uma, seguidas da Massey Ferguson e Valtra, com seis e três modelos respectivamente. Na tabela 3 abaixo, são apresentadas as empresas fabricantes de colhedoras de grãos, com os respectivos modelos de máquinas comercializados no ano de 2020.

Tabela 3 – Colhedoras de grãos disponíveis no mercado nacional no ano de 2020

Fabricantes	Case	John Deere	Massey Ferguson	New Holland	Valtra
Modelos	4150	S430	MF9695	TC 4.90	BC6800
	5150	S440	MF9795	TC 5090	BC7800
	6150	S550	MF9895	TX 4.90	BC8800
	7150	S760	MF4690	TX 5.90	
	Axial-Flow 7250	S770	MF5690	CR 6.80	
	Axial-Flow 8250	S780	MF6690	CR 7.90	
	Axial-Flow 9250	S790		CR 8.90	

Fonte: Autor

3.3 AHP: UM MODELO ESTRUTURAL PARA TOMADA DE DECISÃO

Para o desenvolvimento deste trabalho, que visou viabilizar o método de tomada de decisão multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP), como ferramenta de auxílio na seleção de colhedoras de grãos de arroz irrigado, foi realizada a estruturação da metodologia em etapas, descritas a seguir:

3.3.1 Escolha das Alternativas

As máquinas foram previamente classificadas de acordo com a classe de potência, a fim de facilitar a escolha da máquina mais adequada a necessidade de cada produtor. A atual classificação dessas máquinas é dada pela potência nominal do motor, como critério proposto pela AEM (*Association of Equipment Manufacturers*), organização norte-americana de fabricantes de colhedoras. Na tabela 4 mostrada abaixo, são apresentados os modelos de colhedoras de grãos classificados de acordo com a potência da máquina. São comercializadas atualmente no mercado brasileiro, um total de 31 modelos de colhedoras de grãos, classificadas em sua maioria na Classe V de até 200kw.

Tabela 4 – Classificação das colhedoras de grãos em Classes de Potência.

Classes	Modelos de colhedoras de grãos
V (até 200kw)	S430; S440; MF4690; MF5690; MF6690; TC4.90; TC5090; TX4.90; TX5.90; CR5.85; 4150; 5150
VI (201 a 239 kw)	S550; S760; S770;
VII (240 a 279 kw)	MF9695; CR 6.80; 6150; 7150
VIII (280 a 319 kw)	MF9795; BC6800; CR 7.90
IX (320 a 359 kw)	S780; MF9895; BC 7800; Axial-Flow 7250
X (acima de 360 kw)	S790; BC 8800; CR 8.90; Axial-Flow 8250; Axial-Flow 9250

Fonte: Autor.

Com o objetivo de identificar as colhedoras mais utilizadas na colheita do arroz irrigado na região central do Rio Grande do Sul, foi realizada uma pesquisa nas concessionárias de máquinas agrícolas da localidade onde o método foi proposto (Itaimbé, Verdes Vales, RGS Máquinas Agrícolas e Super Tratores). Das cinco empresas fabricantes de colhedoras de grãos,

apenas quatro possuem modelos compatíveis com as necessidades dos produtores de arroz irrigado da região, sendo em sua maioria das classes V e VI.

Para a composição das alternativas do método AHP como auxílio na tomada de decisão de colhedoras de arroz irrigado, foram selecionados os modelos de colhedoras mais vendidos para a colheita da cultura na região. Os modelos foram selecionados com base nas informações obtidas nas concessionárias visitadas. Os modelos foram denominados como Colhedora 1, Colhedora 2, Colhedora 3 e Colhedora 4.

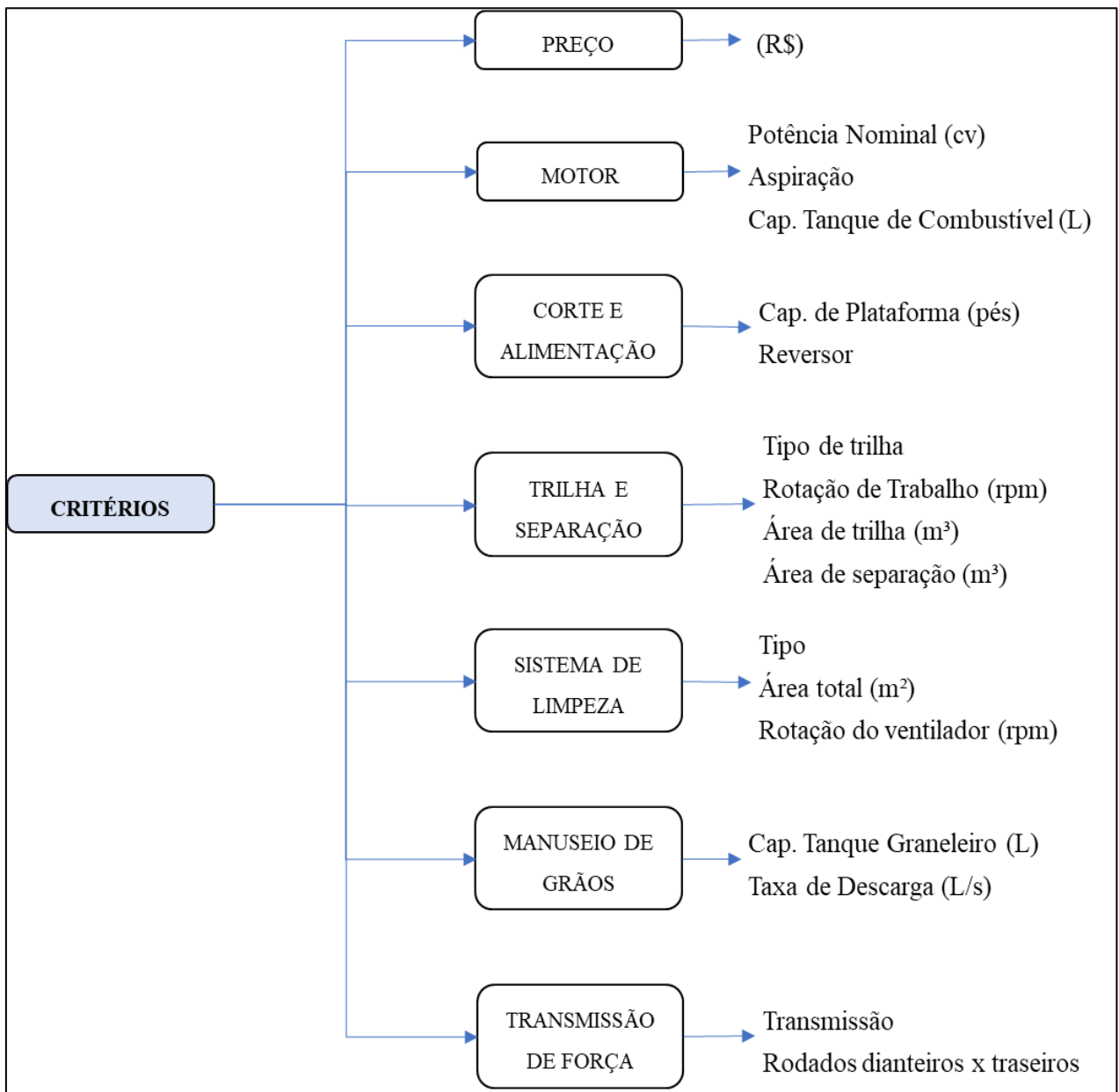
3.3.2 Identificação das características relevantes em colhedoras de grãos para a cultura do arroz irrigado.

Após a identificação das máquinas mais vendidas na região, foi realizada a análise e avaliação do arquivo do Banco de Dados das Colhedoras de grãos 2020 para definição dos critérios, tanto qualitativos como quantitativos das colhedoras de grãos para a cultura do arroz irrigado.

Para a seleção das especificações, foram realizadas pesquisas e entrevistas com o grupo de pesquisa do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), formada em sua maioria por engenheiros agrícolas e agrônomos. Onde foi realizado uma reunião nas instalações do laboratório, com os membros do grupo. Primeiramente, foi explicado como funciona o método AHP para os participantes do processo, seguido de uma entrevista para definição dos critérios de comparação.

No método multicritério AHP, o processo de decisão pode ser considerado sistemático, com a utilização de vários critérios com base nas preferências dos tomadores de decisão. Para esse estudo, foram selecionados os critérios considerados mais relevantes para o produtor de arroz irrigado da região central do estado, tanto no momento da aquisição como no momento da utilização do equipamento (Figura 10).

Figura 10 – Critérios e os fatores de análise utilizados na tomada de decisão.



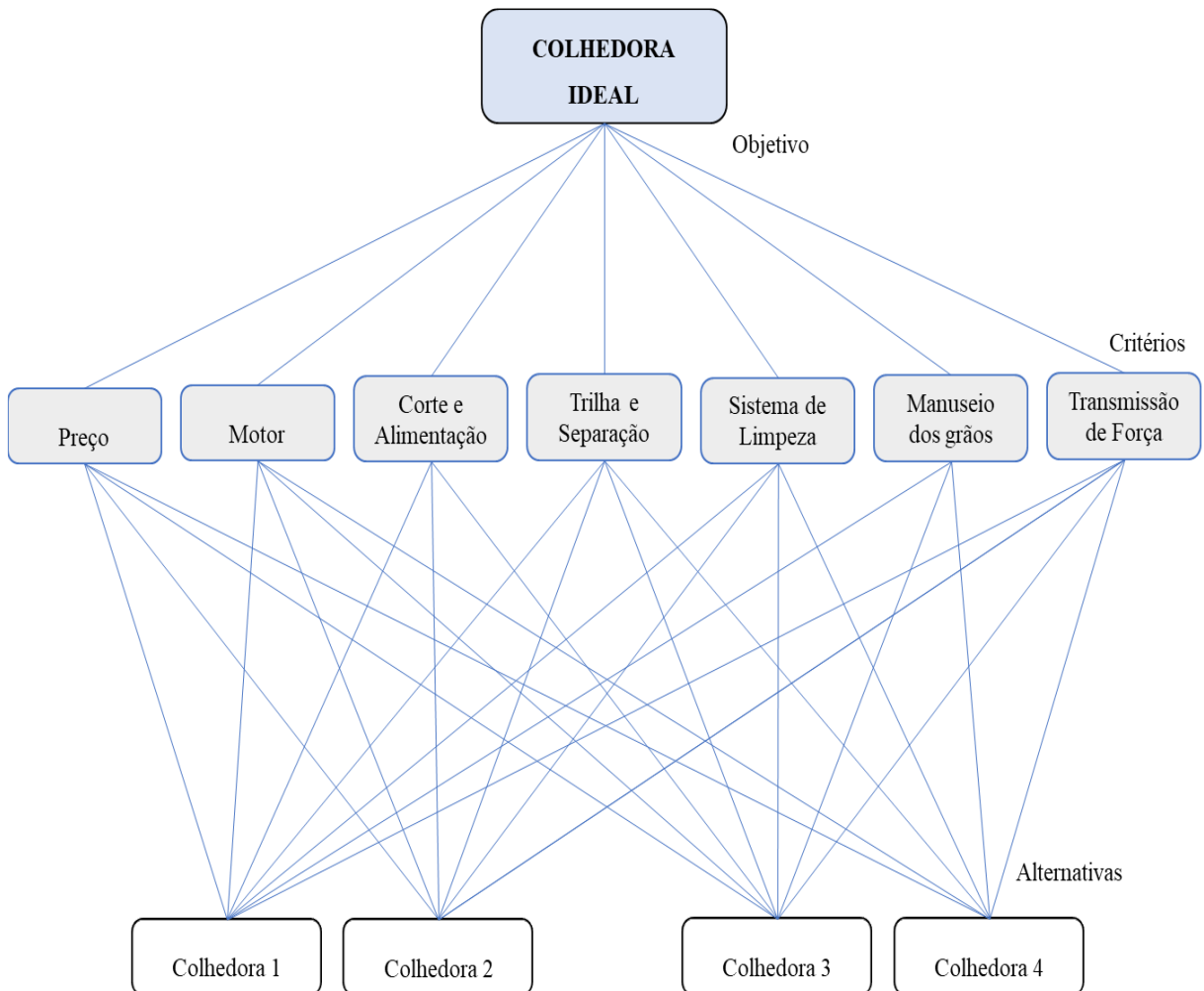
Fonte: Autor.

3.3.3 Estruturação dos critérios em forma de árvore

A terceira etapa consistiu na estruturação dos critérios de modo hierárquico em forma de árvore, sendo que o critério de mais alto nível é decomposto a níveis mais detalhados. Neste trabalho, o “objetivo principal” é encontrar a máquina de colheita ideal, onde os modelos de colhedoras são as alternativas e os critérios são as características mais relevantes para a colheita do arroz irrigado, como por exemplo, se o decisor dá mais importância para características de

motor do que de sistema de trilha da colhedora. Ao todo, foram selecionados sete critérios de comparação, os quais possuem de uma a quatro especificações (Figura 11).

Figura 11 – Estruturação dos critérios em modo hierárquico



Fonte: Autor.

Nas tabelas apresentadas a seguir, são mostradas as especificações dos critérios para cada alternativa, que foram levadas em consideração na comparação paritária entre critérios e alternativas.

Tabela 5 – Especificações técnicas dos critérios da alternativa: Colhedora 1.

Alternativa	Critérios	Fatores de análise	Informação
Colhedora 1	Preço	R\$	1.200.000,00
	Motor	Potência Nominal (cv)	360
		Aspiração	Turbo Intercooler
		Cap. Tanque de Combustível (L)	643
	Corte e Alimentação	Cap. de Plataforma (pés)	25, 30 e 35 pés
		Reversor	Eletro-hidráulico
	Trilha e Separação	Tipo de trilha	Rotor Axial
		Rotação de Trabalho (rpm)	264-709 460-1235
		Área de trilha (m ³)	1,2
		Área de separação (m ³)	1,92
Sistema de Limpeza	Tipo	Ventilador Transversal	
	Área total (m ²)	5,1	
	Rotação do ventilador (rpm)	916 a 1336	
Manuseio de Grãos	Cap. Tanque Graneleiro (L)	10.570	
	Taxa de Descarga (L/s)	88	
Transmissão de Força	Transmissão	Hidrostática 4 velocidades	
	Rodados dianteiros x traseiros	20.8 R38L 23.1 x 26 12PR	

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Especificações técnicas dos critérios da alternativa: Colhedora 2.

Alternativa	Critérios	Fatores de análise	Informação
Colhedora 2	Preço	R\$	950.000,00
	Motor	Potência Nominal (cv)	275
		Aspiração	Turbo Intercooler
		Cap. Tanque de Combustível (L)	757
	Corte e Alimentação	Cap. de Plataforma (pés)	25 e 30
		Reversor	Eletro-hidráulico
	Trilha e Separação	Tipo de trilha	Rotor Axial
		Rotação de Trabalho (rpm)	230 - 1.300
		Área de trilha (m ³)	0.9
		Área de separação (m ³)	1.3
Sistema de Limpeza	Tipo	Sistema Ativo	
	Área total (m ²)	3.83	
	Rotação do ventilador (rpm)	900	
Manuseio de Grãos	Cap. Tanque Graneleiro (L)	8.800	
	Taxa de Descarga (L/s)	78	
Transmissão de Força	Transmissão	Hidrostática com 3 velocidades	
	Rodados dianteiros x traseiros		

Fonte: Autor.

Tabela 7 – Especificações técnicas dos critérios da alternativa: Colhedora 3.

Alternativa	Critérios	Fatores de análise	Informação
Colhedora 3	Preço	R\$	1.200.000,00
	Motor	Potência Nominal (cv)	378
		Aspiração	Turbo Intercooler
		Cap. Tanque de Combustível (L)	950
	Corte e Alimentação	Cap. de Plataforma (pés)	35 e 40
		Reversor	Eletro-hidráulico
	Trilha e Separação	Tipo de trilha	Rotor Axial
		Rotação de Trabalho (rpm)	
		Área de trilha (m ³) Área de separação (m ³)	
	Sistema de Limpeza	Tipo	Exclusivo Ventilador Cross-Flow Automático
Área total (m ²)		5,5	
Rotação do ventilador (rpm)		1350	
Manuseio de Grãos	Cap. Tanque Graneleiro (L)	10.600	
	Taxa de Descarga (L/s)	114	
Transmissão de Força	Transmissão Rodados dianteiros x traseiros	Hidrostático de 4 velocidades 520/85 R42 R2 x 28 R26 R2	

Fonte: Autor.

Tabela 8 – Especificações técnicas dos critérios da alternativa: Colhedora 4.

Alternativa	Critérios	Fatores de análise	Informação
Colhedora 4	Preço	R\$	1.300.000,00
	Motor	Potência Nominal (cv)	272
		Aspiração	Turbo Intercooler
		Cap. Tanque de Combustível (L)	600
	Corte e Alimentação	Cap. de Plataforma (pés)	25 e 30
		Reversor	Eletro-hidráulico
	Trilha e Separação	Tipo de trilha	Duplo rotor
		Rotação de Trabalho (rpm)	
		Área de trilha (m ³) Área de separação (m ³)	2,3 2,3
	Sistema de Limpeza	Tipo	Mesa fixa/autonivelante
Área total (m ²)		5,4	
Rotação do ventilador (rpm)		1200	
Manuseio de Grãos	Cap. Tanque Graneleiro (L)	7.050	
	Taxa de Descarga (L/s)	100	
Transmissão de Força	Transmissão Rodados dianteiros x traseiros	Hidrostático de 4 velocidades 18.4-38 x 18.4x26	

Fonte: Autor.

3.3.4 Elucidação das preferências do tomador de decisão:

Neste trabalho, a atribuição de pesos aos critérios e alternativas foi determinada por apenas um decisor. A elucidação das preferências do decisor foram obtidas por meio dos julgamentos subjetivos, onde os critérios e as alternativas são julgados e quantificados numericamente, levando em consideração a importância relativa dos fatores sob análise. Desta maneira, foi atribuído pesos aos critérios propostos, a partir de julgamentos par a par dos elementos de um nível da hierarquia à luz de cada elemento em relação ao nível superior, compondo as matrizes, que foram organizadas em planilhas do Software Microsoft Office Excel. Tais valores estão de acordo com a escala numérica positiva de números reais, proposta por Thomas Saaty (1990), denominada como Escala Fundamental do AHP (Tabela 9).

Tabela 9 – Escala Fundamental do AHP simplificada.

Intensidade	Definição
1	Igual importância
3	Importância pequena de uma sobre a outra
5	Importância grande ou essencial
7	Importância muito grande ou demonstrada
9	Importância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermediários
Recíprocos dos números acima	Se a atividade i possui um dos números acima, quando comparada com a atividade j, a atividade j possuirá o valor inverso quando comparada a i.

Fonte: Adaptado Thomas Saaty (1990).

Primeiramente foram atribuídos os pesos as alternativas à luz dos critérios, onde cada elemento ij do vetor linha da matriz de decisão representa a dominância da alternativa A_i sobre a alternativa A_j . A diagonal principal é preenchida com o valor 1 dado que qualquer alternativa comparada e ela própria possui a mesma importância na Escala Fundamental.

Posteriormente, foi realizada a normalização das matrizes de julgamento para a obtenção de quadros normalizados através da soma dos elementos de cada coluna das matrizes de julgamento e posterior divisão de cada elemento destas matrizes pelo somatório dos valores da respectiva coluna, através do software Microsoft Excel Além disso, foi realizado o cálculo das prioridades médias locais: as PML's, que são as médias das linhas dos quadros normalizados.

Foi realizado também, as comparações e atribuições de pesos para os critérios à luz do objetivo, seguindo os mesmos passos das comparações entre as alternativas à luz dos critérios. Por fim, foi calculado as prioridades globais (PG), com o objetivo de identificar um vetor de prioridades global, que armazene a prioridade associada a cada alternativa em relação ao foco principal. O cálculo é realizado a partir da divisão do somatório das linhas normalizadas pela dimensão da matriz.

3.3.5 Consistência dos julgamentos

A última etapa do método AHP, consiste na validação dos julgamentos, a partir do cálculo da consistência lógica. Para isso, primeiramente foi realizado o cálculo do Índice de Consistência (IC) que é dado pela Equação 1.

$$IC = \frac{\pi\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

Onde:

$\lambda_{\text{máx}}$ = maior autovalor da matriz de julgamentos

Posteriormente foi calculado a Razão de Consistência dos julgamentos, denotada pela Equação 2.

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Onde:

RC = Razão de Consistência;

IC = Índice de Consistência;

IR = Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n, com elementos não-negativos e gerada randomicamente.

Segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos é de 10%, ou seja, a razão entre o IC e índice randômico IR deve ser $\leq 0,10$. De acordo com Saaty (1987), essa lógica derivou-se de um experimento com uma amostra de 500 elementos de uma matriz

recíproca gerada aleatoriamente utilizando a Escala Fundamental proposta por Saaty, para ver se a consistência calculada é cerca de 0,10 ou menos (Tabela 10).

Tabela 10 – índice Randômico

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987).

Assim, o valor de IR utilizado para encontrar RC será correspondente a ordem da matriz problema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, é apresentada a comparação paritária entre as alternativas e os critérios de avaliação para a seleção do modelo de colhedora de arroz irrigado, de forma a atender as preferências do decisor, através do método de análise com multicritérios AHP.

4.1 COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS À LUZ DOS CRITÉRIOS E CÁLCULO DAS PRIORIDADES MÉDIAS LOCAIS (PML'S)

O decisor levou em consideração as alternativas com maiores capacidades em todos os critérios, com exceção do critério “Preço” (Tabela 11).

Tabela 11 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Preço.

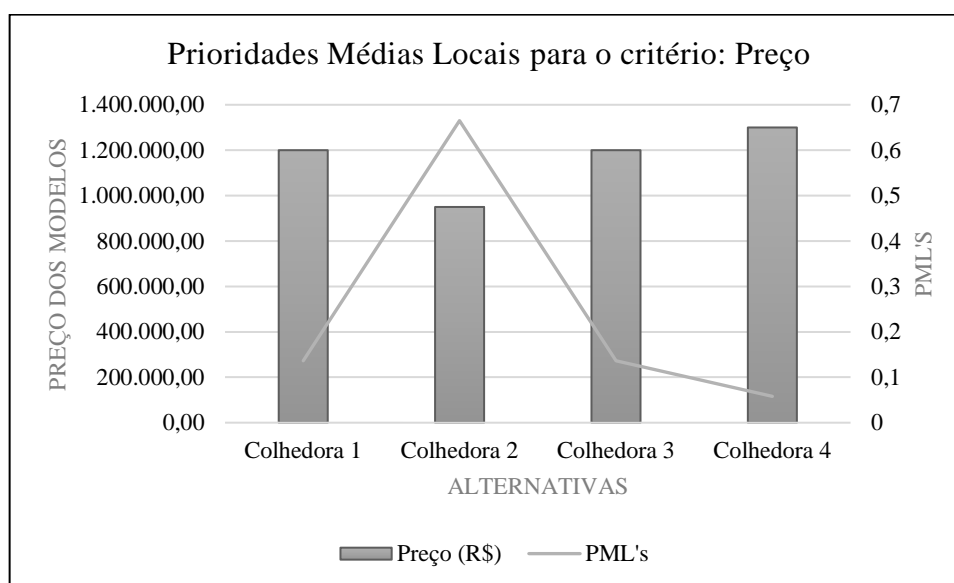
Preço	Colhedora 1	Colhedora 2	Colhedora 3	Colhedora 4	PML's
Colhedora 1	1	1/5	1	3	0,136
Colhedora 2	5	1	5	7	0,665
Colhedora 3	1	1/5	1	3	0,136
Colhedora 4	1/3	1/7	1/3	1	0,058

Fonte: Autor.

De acordo com a Tabela 11, nas comparações entre as alternativas em relação ao critério Preço, a alternativa que mais se destacou foi a “Colhedora 2”, com um valor de PML's igual a 0,665. Isto porque o decisor demonstrou preferência aos preços de aquisição mais baixos no momento da atribuição de pesos para o critério em avaliação.

Como as alternativas Colhedora 1 e Colhedora 3 possuem o mesmo valor de aquisição, alcançaram o mesmo valor de PML's. já a Colhedora 4, que possui um valor maior em relação as demais alternativas, classificou-se em último lugar, com uma prioridade média local de 0,058. Desta forma, devido a alternativa “Colhedora 2” apresentar o menor preço em comparação com as alternativas, ganhou destaque dentre as demais, como mostra a Figura 12, a seguir.

Figura 12 – Gráfico de Prioridades Médias Locais para o critério: Preço.



Fonte: Autor.

Como os modelos comparados nesse trabalho, são os mais vendidos na região de estudo, o decisor optou pelas alternativas com maiores capacidades em todos os sistemas da máquina. Em relação a comparação das alternativas para o critério “Motor”, a alternativa “Colhedora 3”, obteve os melhores resultados entre as alternativas. Isso se deve ao fato do decisor pontuar com pesos maiores, as alternativas com maior potência nominal e capacidade do tanque de combustível.

Os valores de Prioridades Médias Locais para esse critério Motor são apresentados na Tabela 12.

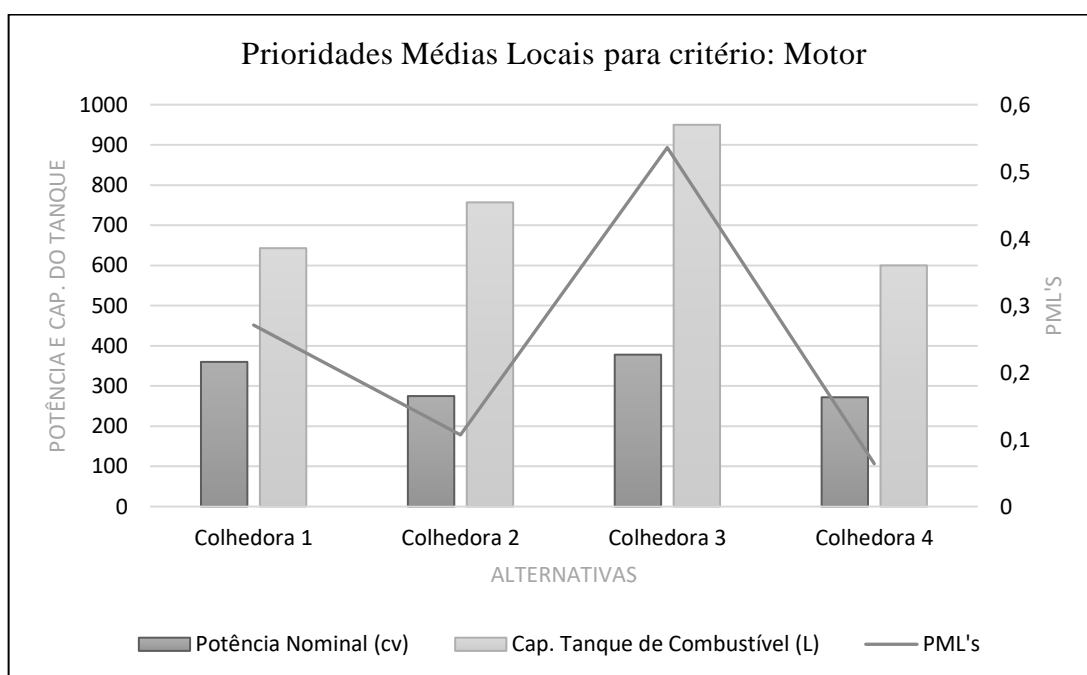
Tabela 12 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Motor.

Motor	Colhedora 1	Colhedora 2	Colhedora 3	Colhedora 4	PML's
Colhedora 1	1	3	1/3	5	0,271
Colhedora 2	1/3	1	1/5	3	0,107
Colhedora 3	3	5	1	3	0,536
Colhedora 4	1/5	1/3	1/3	1	0,064

Fonte: Autor.

Na Figura 13 mostrada abaixo, é possível observar que a “Colhedora 3” detém tanto a maior capacidade de combustível entre as alternativas, como também, a maior potência nominal. Como os sistemas de aspiração das alternativas eram os mesmos, não foram levados em consideração na comparação. A alternativa colhedora 3, conta com um motor eletrônico FPT. Além disso, possui um sistema Common Rail, que otimiza o processo de combustão, aumenta o rendimento do motor, um sistema de circulação interna dos gases da exaustão (iEGR) e uma turbina eletrônica com geometria variável, que oferece uma melhor resposta nas demandas de potência.

Figura 13 – Prioridades Médias Locais para o critério motor.



Fonte: Autor.

No critério “Corte e Alimentação”, dentre as alternativas, a “Colhedora 3” foi a que alcançou a maior pontuação. Nessa comparação, o decisor atribuiu uma maior importância para as máquinas com maior capacidade produtiva. Isso porque a colhedora 3, detém de um sistema de alimentação diferenciado, dimensionado para a alta produtividade. Além de ser o modelo que oferece as maiores capacidades de plataformas, em relação ao tamanho.

Os resultados de Prioridades Médias Locais estão mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Corte e Alimentação.

Corte e Alimentação	Colhedora 1	Colhedora 2	Colhedora 3	Colhedora 4	PML' s
Colhedora 1	1	3	1/3	3	0,257
Colhedora 2	1/3	1	1/3	1	0,113
Colhedora 3	3	3	1	5	0,518
Colhedora 4	1/3	1	1/5	1	0,104

Fonte: Autor.

No critério “Trilha e Separação”, foram considerados, o tipo de trilha, a rotação de trabalho, a área de trilha e a área de separação, de forma a resultar na “Colhedora 4” como destaque em relação as demais. Segundo Costa et al. (2005) nas colhedoras com sistema de trilha axial podem ser observadas a redução de danos mecânicos e uma maior capacidade de colheita da cultura do arroz irrigado.

Além disso, a Colhedora 4, conta com barras de trilha redesenhadas para aumentar a capacidade de debulha e, ao mesmo tempo, otimizar a passagem do material pelos côncavos.

Tabela 14 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Trilha e separação.

Trilha e Separação	Colhedora 1	Colhedora 2	Colhedora 3	Colhedora 4	PML's
Colhedora 1	1	5	3	1/3	0,235
Colhedora 2	1/5	1	3	1/7	0,080
Colhedora 3	1/3	1/3	1	1/5	0,078
Colhedora 4	3	7	5	1	0,561

Fonte: Autor.

A alternativa “Colhedora 3”, também se destacou nas comparações paritárias das alternativas à luz do critério “Sistema de Limpeza” (Tabela 15). Para esse critério, foram levados em consideração o tipo de limpeza, a área total de limpeza e a rotação do ventilador. Para o decisor, as máquinas com as maiores áreas de limpeza e de rotação receberam os maiores pesos em comparação uns com os outros.

A colhedora 3 possui uma mesa de sem fins com uma grande capacidade de processamento e um ventilador de limpeza que entrega e amostras limpas de grãos, independente das condições de colheita.

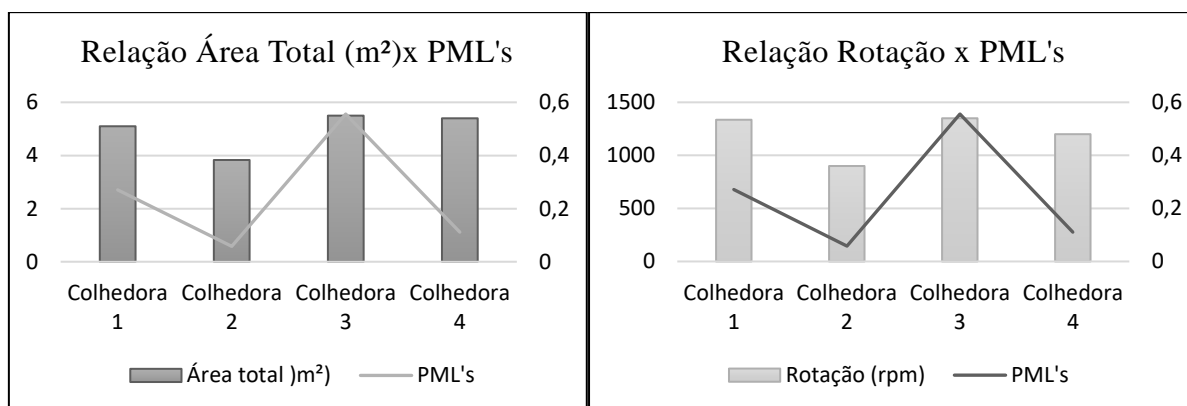
Tabela 15 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Sistema de Limpeza.

Limpeza	Colhedora 1	Colhedora 2	Colhedora 3	Colhedora 4	PML's
Colhedora 1	1	5	1/3	3	0,271
Colhedora 2	1/5	1	1/5	1/3	0,058
Colhedora 3	3	5	1	5	0,556
Colhedora 4	1/3	3	1/5	1	0,111

Fonte: Autor.

De acordo com as especificações do critério avaliado, pode-se perceber um acréscimo proporcional entre a área de limpeza e a rotação do ventilador, isto é, quanto maior a área de limpeza da máquina, maiores são as rotações do ventilador. Essas informações são apresentadas na Figura 14.

Figura 14 – Relação entre a área total de limpeza, rotação do ventilador e PML's



Fonte: Autor.

Para a comparação paritária das alternativas à luz do critério “Manuseio de Grãos” foram levados em consideração a capacidade do tanque graneleiro e a taxa de descarga do mesmo. As alternativas “Colhedora 3” e “Colhedora 4”, apresentaram o maior e o menor valor de Prioridades Médias Globais, respectivamente (Tabela 16). Isso é explicado pelo fato da colhedora 3 apresentar as maiores capacidades de tanque graneleiro e taxa de descarga em comparação as demais alternativas.

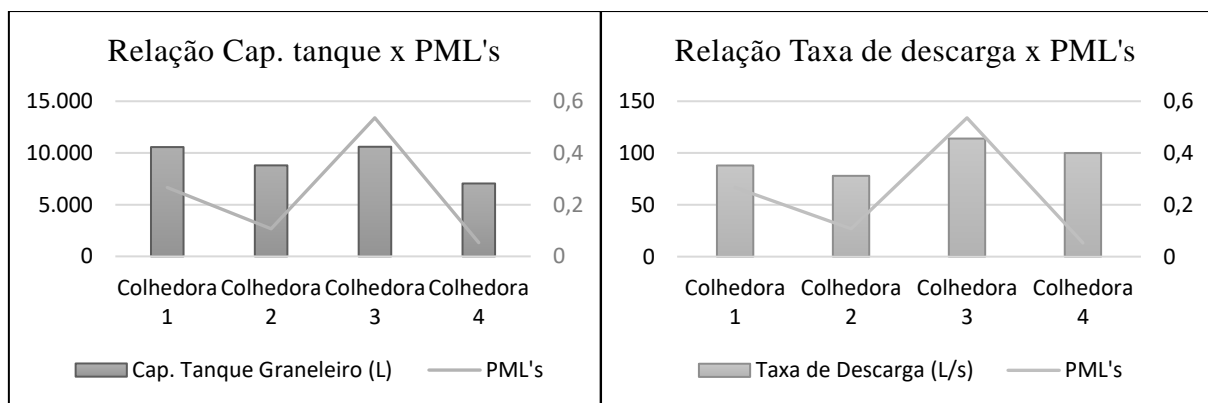
Tabela 16 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Manuseio de Grãos.

Manuseio de Grãos	Colhedora 1	Colhedora 2	Colhedora 3	Colhedora 4	PML's
Colhedora 1	1	3	1/3	5	0,267
Colhedora 2	1/3	1	1/5	3	0,107
Colhedora 3	3	5	1	7	0,536
Colhedora 4	1/5	1/3	1/3	1	0,053

Fonte: Autor.

A capacidade do tanque graneleiro e a taxa de descarga dos grãos variam conforme o tamanho da máquina. Na comparação entre as alternativas, o decisor levou em consideração as opções com maiores capacidades. Desta forma, a alternativa “Colhedora 3” apresentou-se como a melhor opção entre as alternativas (Figura 15).

Figura 15 – Relação entre a capacidade do tanque graneleiro, a taxa de descarga e PML's para o critério Manuseio de grãos.



Fonte: Autor.

No critério transmissão de força, foram avaliados o tipo de transmissão e rodados das máquinas. As alternativas “Colhedora 1”, “Colhedora 3” e “Colhedora 4”, contam com uma transmissão hidrostática com quatro velocidades. Apenas a alternativa “Colhedora 2” possui transmissão hidrostática com três velocidades. De acordo com essas informações e o tipo de rodado, foram determinados os pesos para cada alternativa à luz do critério transmissão de força (Tabela 17).

Tabela 17 – Comparação paritária das alternativas à luz do critério: Transmissão de força.

Transmissão de Força	Colhedora 1	Colhedora 2	Colhedora 3	Colhedora 4	PML's
Colhedora 1	1	3	1/3	5	0,267
Colhedora 2	1/3	1	1/5	3	0,107
Colhedora 3	3	5	1	7	0,536
Colhedora 4	1/5	1/3	1/3	1	0,053

Fonte: Autor.

4.2 COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS À LUZ DAS ALTERNATIVAS E CÁLCULO DAS PRIORIDADES MÉDIAS LOCAIS (PML's)

Nessa etapa, os julgamentos foram baseados somente nas especificações de cada critério de colhedoras de grãos de forma geral e não nas informações de cada alternativa. Na Tabela 18, são apresentados os pesos das comparações paritárias dos critérios a luz do objetivo principal (colhedora ideal), de acordo com a escala fundamental. Os julgamentos são baseados nos critérios e suas especificações mostrados nas tabelas 5, 6, 7 e 8.

Tabela 18 – Matriz de Comparações Pareadas dos critérios.

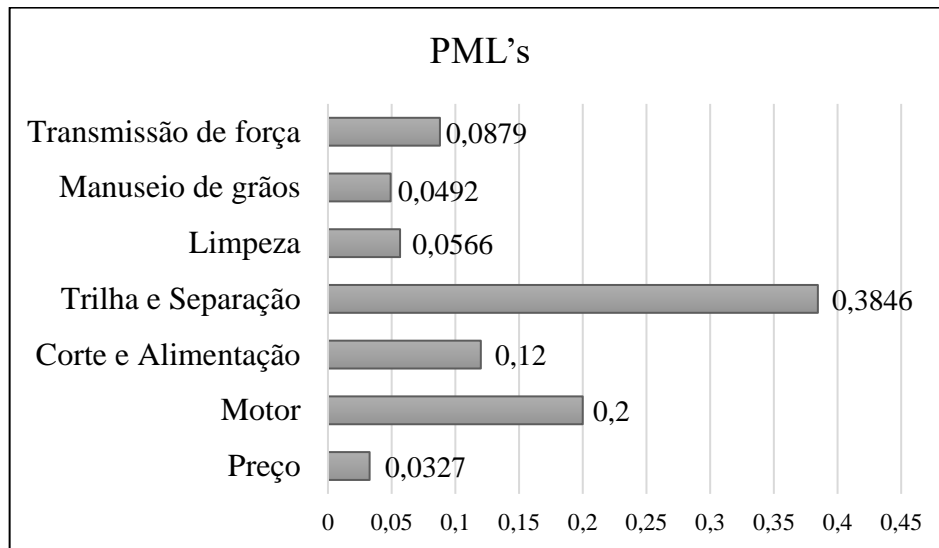
Crítérios	Preço	Motor	Corte e Alimentação	Trilha e Separação	Limpeza	Manuseio de grãos	Transmissão de força	PML's
Preço	1	1/5	1/3	1/7	1/3	1/3	1/3	0,032
Motor	5	1	3	1/3	5	3	3	0,200
Corte e Alimentação	3	1/3	1	1/5	3	5	3	0,120
Trilha e Separação	7	3	5	1	5	5	5	0,384
Limpeza	3	1/5	1/3	1/5	1	3	1/3	0,056
Manuseio de grãos	3	1/3	1/5	1/5	1/3	1	1/3	0,049
Transmissão de força	3	1/3	1/3	1/5	3	3	1	0,087

Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 16, o critério “Trilha e Separação” se destaca entre os demais critérios, em relação a prioridade média local. Essa pontuação, deve-se a pontuação da comparação paritário entre os critérios, determinada pelo decisor. Além disso, para o decisor,

o preço é menos importante do que as configurações da máquina de colheita de grãos entre os demais critérios.

Figura 16 – Prioridades Médias Globais dos Critérios.



Fonte: Autor.

As colhedoras axiais estão presentes na maioria dos modelos comercializados para a cultura do arroz, principalmente, nas máquinas fabricadas em anos anteriores à 2009 (PINHEIRO, 2014).

4.3 CÁLCULO DAS PRIORIDADES GLOBAIS

Uma vez obtida as PML's de cada critério a luz do foco principal e as PML's das alternativas à luz de cada critério, a prioridade global (PG) de uma alternativa pode ser facilmente obtida, realizando o somatório dos produtos da PML desta alternativa à luz de cada critério pela PML do critério correspondente, à luz do foco principal. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 19. De forma ilustrativa, a prioridade global da alternativa a1 é obtida da seguinte forma:

$$PG(a1) = PML(Cr1) * PML(a1)Cr1 + PML(Cr2) * PML(a1)Cr2 + \dots + PML(Cr5) * PML(a1)Cr5$$

Tabela 19 – Prioridades Médias Locais (PML's) e Prioridades Globais (PG).

Prioridades	Preço	Motor	Corte e Alimentação	Trilha e Separação	Limpeza	Manuseio de Grãos	Transmissão de Força	PG
Colhedora 1	0,136	0,271	0,257	0,235	0,271	0,267	0,267	0,232
Colhedora 2	0,665	0,107	0,113	0,080	0,058	0,107	0,107	0,105
Colhedora 3	0,136	0,536	0,518	0,078	0,556	0,536	0,536	0,309
Colhedora 4	0,058	0,064	0,104	0,561	0,111	0,053	0,053	0,256

Fonte: Autor.

Considerando os resultados apresentados na Tabela 19, pode-se considerar que, para as condições estudadas, a colhedora ideal em relação as preferências do decisor analisado à luz de todos os critérios é a alternativa Colhedora 3, uma vez que obteve a maior Prioridade Global. No entanto, vale ressaltar que essa metodologia se comporta como uma ferramenta de auxílio à decisão e por esse motivo, não elimina a figura do comprador como elemento decisor na construção das hierarquias e julgamentos (COSTA e MOLL, 1999).

4.4 VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS JULGAMENTOS

Para a verificação da consistência dos julgamentos, Saat (1990) propôs um procedimento composto de algumas etapas, as quais serão ilustradas através dos julgamentos da relação conjunto de critérios ao objetivo principal:

- (i) Construção de uma matriz auxiliar A'' : os elementos desta matriz serão os valores de cada coluna dos quadros de julgamentos multiplicados pela PML associada à alternativa relacionada a essa coluna.

$$A'' = \begin{vmatrix} 1 * 0,0327 & 1/5 * 0,200 & 1/3 * 0,120 & 1/7 * 0,384 & 1/3 * 0,056 & 1/3 * 0,049 & 1/3 * 0,087 \\ 5 * 0,0327 & 1 * 0,200 & 3 * 0,120 & 1/3 * 0,384 & 5 * 0,056 & 3 * 0,049 & 3 * 0,087 \\ 3 * 0,0327 & 1/3 * 0,200 & 1 * 0,120 & 1/5 * 0,384 & 3 * 0,056 & 5 * 0,049 & 3 * 0,087 \\ 7 * 0,0327 & 3 * 0,200 & 5 * 0,120 & 1 * 0,384 & 5 * 0,056 & 5 * 0,049 & 5 * 0,087 \\ 3 * 0,0327 & 1/5 * 0,200 & 1/3 * 0,120 & 1/5 * 0,384 & 1 * 0,056 & 3 * 0,049 & 1/3 * 0,087 \\ 3 * 0,0327 & 1/3 * 0,200 & 1/5 * 0,120 & 1/5 * 0,384 & 1/3 * 0,056 & 1 * 0,049 & 1/3 * 0,087 \\ 3 * 0,0327 & 1/3 * 0,200 & 1/3 * 0,120 & 1/5 * 0,384 & 3 * 0,056 & 3 * 0,049 & 1 * 0,087 \end{vmatrix}$$

Com a combinação dos julgamentos paritários dos critérios e os resultados das PML's, uma nova matriz com a pontuação final obtida, conforme segue abaixo:

$$A'' = \begin{pmatrix} 0,033 & 0,040 & 0,040 & 0,055 & 0,019 & 0,016 & 0,029 \\ 0,164 & 0,200 & 0,360 & 0,128 & 0,280 & 0,147 & 0,261 \\ 0,098 & 0,067 & 0,120 & 0,077 & 0,168 & 0,245 & 0,261 \\ 0,229 & 0,600 & 0,600 & 0,384 & 0,280 & 0,245 & 0,435 \\ 0,098 & 0,040 & 0,040 & 0,077 & 0,056 & 0,147 & 0,029 \\ 0,098 & 0,067 & 0,024 & 0,077 & 0,019 & 0,049 & 0,029 \\ 0,098 & 0,067 & 0,040 & 0,077 & 0,168 & 0,147 & 0,087 \end{pmatrix}$$

- (ii) Construção de um vetor de prioridades auxiliar P'' e de um vetor auxiliar Paux: os elementos do vetor P'' correspondem à soma dos elementos de cada linha da matriz A'. Os valores resultantes foram divididos pelo valor da PML associada a esta linha, constituindo os elementos do vetor Paux. Os vetores obtidos são:

$$P'' = (0,232 \quad 1,540 \quad 1,036 \quad 2,773 \quad 0,487 \quad 0,362 \quad 0,684)$$

$$Paux = (0,232/0,327 \quad 1,540/0,200 \quad 1,036/0,120 \quad 2,773/0,384 \quad 0,487/0,056 \quad 0,362/0,049 \\ 0,684/0,087)$$

$$Paux = (7,085 \quad 7,697 \quad 8,629 \quad 7,209 \quad 8,601 \quad 7,365 \quad 7,779)$$

- (iii) Cálculo do autovalor máximo λ_{max} : Este valor é obtido através da média dos elementos de Paux Então: $\lambda_{max} = 7,697$
- (iv) Cálculo do Índice de Consistência (IC)

$$IC = \frac{7,697 - 7}{7 - 1} = 0,116$$

- (v) Cálculo da Razão de Consistência (RC), através da expressão:

$$RC = \frac{0,116}{1,32} = 0,088$$

onde IR é um índice de consistência randômico para uma matriz recíproca, com elementos negativos e gerada randomicamente. Para uma matriz de julgamentos de ordem 7, o valor de

IR é 1,32. Como $RC \leq 0,1$, segundo Saaty (1990), os julgamentos para esta matriz são considerados consistentes.

Vale destacar, que o decisor deu uma maior importância aos menores preços e maiores capacidades dos sistemas da máquina, a fim de encontrar uma colhedora de arroz irrigado que correspondesse à um melhor custo x benefício dentro das alternativas estudadas.

O ambiente agrícola, assim como outros setores da produção, é dinâmico, por conta das inovações tecnológicas (COSTA & MOLL, 1999). Neste ambiente, a utilização da metodologia proposta nesse trabalho, mostra-se adequada, devido à sua capacidade de adaptação, tanto pela revisão de julgamentos, quanto pela estruturação da hierarquia com a exclusão ou inclusão de novos critérios e alternativas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma abordagem multicritério fundamentada no emprego do método AHP, com o objetivo contribuir na tomada de decisão na seleção de uma colhedora de grãos de arroz irrigado. No entanto, vale ressaltar que:

✓ O trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de ilustrar e viabilizar o emprego da metodologia proposta, na seleção de colhedoras de arroz irrigado;

✓ A metodologia empregada neste trabalho não elimina a subjetividade pertinente aos problemas decisórios, somente procura tratar destas através da aplicação de um método que propicia a verificação da consistência dos julgamentos. Tais julgamentos devem ser conduzidos preferencialmente por profissionais que possuem conhecimentos na área do problema.

✓ Os julgamentos de preferência foram obtidos a partir da opinião de um único especialista, o que certamente não se caracteriza como uma “verdade absoluta”, visto que existe um alto grau de subjetividade nestes julgamentos. Mais precisamente, os resultados obtidos caracterizam-se pela opinião única e pessoal do respectivo decisor, não devendo ser generalizada e expandida para decisões de compra colhedoras de grãos.

6. CONCLUSÃO

Em suma, o uso da metodologia de multicritérios AHP apresentou resultados satisfatórios dentro do objetivo ao qual foi proposto. Contudo, a análise pode ser aperfeiçoada se considerado um conjunto maior de alternativas (modelos de colhedoras de grãos) e de critérios, e também se considerados os julgamentos de mais especialistas.

7. REFERÊNCIAS

AGUERO N. F.; MION R. L.; BARAVIERA C. M.; MARTINS M. T.; CRISOSTOMO W.; VILIOTTI C. A. Mechanical harvest methods efficiency and its impacts on quality of narrow row cotton. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13(41), pp. 2263-2268, 2018.

ALDOSHIN, N. V.; LYLIN, N. A. Improving the Design of the Grain Combine Harvester Cleaner. **Russian Agricultural Sciences**, 44(1), 108-111. 2018.

ALONÇO, A. dos S.; MACHADO, A.L.T.; REIS, Â. V. dos; MACHADO, R.L.T.; TILLMANN, C.A. da C. Perdas na colheita mecanizada de arroz: Um comparativo entre dois tipos de plataforma. **TecnoLógica**, Santa Cruz do Sul, v. 6, n. 1, p. 49 -60. 2002.

ALVES, J. R. X.; ALVES, J. M. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). **Production**, 25(1), 13-26. 2015.

ANDRÉ, M. E. D. A. D. Estudo de caso em pesquisa e avaliação educacional. Líber livro. 2008.

ARTUZO, F. D.; JANDREY, W. F.; CASARIN, F.; MACHADO, J. A. D. Tomada de decisão a partir da análise econômica de viabilidade: estudo de caso no dimensionamento de máquinas agrícolas. **Custos e@ gronegocio, on line**, v. 11, n. 3, 2015.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 2005. 310 p.

BEDIM

BOCK, R.; DOS SANTOS ALONÇO, A.; DE OLIVEIRA DIAS, V.; POSSEBOM, G.; KNIERIM, L. F.; DA CRUZ, W. A. S.; MACHADO, A. P. Á. (2020). Perdas na colheita mecanizada da soja em função da velocidade de deslocamento e índice de molinete. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n. 6, p.34707-34724. 2020.

BOTTEGA, E. L.; BATAGLINI, F.; DE OLIVEIRA NETO, A. M.; GALAN, G. L.; GUERRA, N. Aquisição de uma colhedora combinada de grãos: estudo de viabilidade para a região de farol, PR, no ano agrícola de 2012. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 2, p. 82-88, 2015.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. Multiple criteria decision analysis. state of the art. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2005.

BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento–UPA 24 h. **Gestão & Produção**. v. 22, n. 4, p. 805-819, 2015.

CARPANEZZI, L; LEARDINI, O; SILVA, C. G. C.; ZANARDI, R. **História e evolução da mecanização**. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/CxbNYOvf8fSKep0_2018-1-25-14-45-46.pdf>. Acesso em: 26 de novembro de 2020.

CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P. D.; ZERBATO, C.; LIMA, P. H. D. Monitoring of mechanized harvest operation of soybean seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1209-1214, 2015.

CASTRO, L.; FERREIRA, J. Colhedora Axial. Trabalho Acadêmico da disciplina Análises de Máquinas Agrícolas– Faculdades Associadas de Uberaba, Uberaba. 2007.

CHEN, J.; NING, X.; LI, Y.; YANG, G.; WU, P.; CHEN, S. A fuzzy control strategy for the forward speed of a combine harvester based on KDD. **Applied engineering in agriculture**, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2017.

CHIODEROLI, C. A., SILVA, R. P. D., NORONHA, R. H. D. F., CASSIA, M. T., & SANTOS, E. P. D. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p.112-121, 2012.

CHO, W.; IIDA, M.; SUGURI, M.; MASUDA, R.; KURITA, H. Using multiple sensors to detect uncut crop edges for autonomous guidance systems of head-feeding combine harvesters. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 7, n. 3, p. 115-121, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de grãos cresce 3,4% e chega a 235,3 milhões de toneladas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2845-producao-de-graos-cresce-3-4-e-chega-a-235-3-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 27 de jun. de 2019.

COSTA, H. G.; MOLL, R. N. Emprego do método de análise hierárquica (AHP) na seleção de variedades para o plantio de cana-de-açúcar. **Gestão & Produção** v.6, n.3, p. 243-256, dez. 1999.

COSTA, N. P. D.; MESQUITA, C. D. M.; MAURINA, A. C.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; OLIVEIRA, M. C. N.; HENNING, A. A. Perfil dos aspectos físicos, fisiológicos e químicos de sementes de soja produzidas em seis regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.27, n.2, p.172-181, 2005.

CUNHA, J. P. A. R. DA; OLIVEIRA, P. DE; SANTOS, C. M. DOS; MION, R. L. Qualidade das sementes de soja após a colheita com dois tipos de colhedora e dois períodos de armazenamento. **Ciência Rural**, v.39, p.1420-1425, 2009.

DA COSTA, T. C., & BELDERRAIN, M. C. N. **Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à decisão**. Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA. 2009.

DA SILVA MACEDO, M. A.; CORRAR, L. J. Análise do desempenho contábil-financeiro de seguradoras no Brasil no ano de 2007: um estudo apoiado em análise hierárquica (AHP). **Contabilidade Vista & Revista**, v. 21, n. 3, p. 135-165, 2010.

DALCIN, C. D. N. A. **Grau de satisfação dos proprietários de colhedoras de arroz na fronteira oeste do Rio Grande do Sul**. 2017. Trabalho de conclusão de curso. UNIPAMPA, Alegrete. 2017.

DE MORAES, M. L. B.; DOS REIS, Â. V. **Máquinas para colheita e processamento dos grãos**. Universitaria/UFPEL, 1996.

EDWARDS, W. Machinery management: farm machinery selection. Ames: Iowa State University Extension. p. 8. 2001.

FAGANELLO, A.; PORTELLA, J.; EICHELBERGER, L.; TIBOLA, C. Colheita. **Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.

FAO. Organização das nações Unidas para alimentação e Agricultura. FAO no Brasil. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/901168/>>. Acesso em 27 de jun de 2018.

FARIAS, A. M. L. D. **Números Índices. Apostila**. Departamento de Estatística UFF, Niterói: 2015.

FERRARI, T. S. **Aplicação de números índices no cálculo da cesta básica**. Dissertação apresentada ao Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente da UNESP, 2017.

FERREIRA, M. F. P.; NEUJAHR, E. B.; DALLMEYER, A. U.; SCHNEIDER, V. **Coefficiente tecnológico de semeadoras para semeadura direta**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1998, Poços de Caldas, MG, 1998.

FONTANA, G.; SILVA, R. P. DA; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Avaliação de características ergonômicas no posto do operador em colhedoras combinadas. Engenharia Agrícola, v.24, n.3, p.684-694, 2004.

FORMOSO, C. T. **Análise dos números índices de preço da indústria da construção: subsector edificações**. Dissertação apresentada para a Escola de Engenharia PPGEC da UFRGS, 1986.

FRANCO, D. F.; ALONÇO, A. D. S.; PETRINI, J. A. Plataformas de colheita e colheita manual com trilha mecânica sobre a qualidade de sementes de arroz (*Oryza sativa*, L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 267-271. 1999.

FRANCO, D. F.; ALONÇO, A. dos S.; INFELD, J. A. **Colheita do arroz irrigado**. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JR, A. M. de. Arroz Irrigado no Sul do Brasil. Brasília: EMBRAPA. p. 727-744. 2004.

FU, J.; CHEN, Z.; HAN, L.; REN, L. (2018). Review of grain threshing theory and technology. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, v.11(3), p.12-20. 2018.

GIRSANG, S. S.; CORREA JR, T. Q.; QUILTY, J. R.; SANCHEZ, P. B.; BURESH, R. J. Soil aeration and relationship to inorganic nitrogen during aerobic cultivation of irrigated rice on a consolidated land parcel. **Soil and Tillage Research**, v. 202, 104647. 2020.

GHARAKHANI, H.; ALIMARDANI, R.; JAFARI, A. Design a new cutter-bar mechanism with flexible blades and its evaluation on harvesting of lentil. **Engineering in agriculture, environment and food**, v. 10, n. 3, p. 198-207, 2017.

GOBBI, F. T.; ZANDONADI, R. S.; PINTO F. A. C. **Desempenho de colhedoras de grãos utilizando plataforma de corte com condutor helicoidal e esteira transportadora**. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43.,2014, Campo Grande. Anais. Campo Grande: CONBEA, 2014.

GONÇALVES, R. W.; PINHEIRO, P. R.; FREITAS, M. D. S. **Métodos multicritérios como auxílio à tomada de decisão na bacia hidrográfica do rio Curu–Estado do Ceará**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba, Brasil. 2003.

GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I. R. Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: Uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP). **Transportes**, v. 6, n. 1, 1998.

GUO, X.; KAPUCU, N. Assessing social vulnerability to earthquake disaster using rough analytic hierarchy process method: a case study of Hanzhong City, China. **Safety science**, v. 125, 104625. 2020.

IRGA. INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Irga divulga custo de produção da safra 2019/2020**. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/irga-divulga-custo-de-producao-da-safra-2019-2020>>. Acesso dia 25 de novembro de 2020.

IVAN, G.; VLĂDUȚ, V. N. Kinematic study of threshing process conducted by tangential threshing system of conventional cereal harvesting combines. **INMATEH-Agricultural Engineering**, v. 44, n. 3, p.59-68, 2014.

JACTO. **Acompanhe a evolução dos implementos agrícolas**. Disponível em: <<https://blog.jacto.com.br/acompanhe-a-evolucao-dos-implementos-agricolas/>>. Acesso em 26 de novembro de 2020.

KURITA, H.; IIDA, M.; SUGURI, M.; & MASUDA, R. Application of image processing technology for unloading automation of robotic head-feeding combine harvester. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 5, n. 4, p. 146-151, 2012.

LEITE, I. M. S. & FREITAS, F. F. **Análise Comparativa Dos Métodos De Apoio Multicritério A Decisão: Ahp, Electre E Promethee**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. Artigo. Bento Gonçalves: Enegep, 2012. p. 1 - 11. 2012.

LIMA, C. M. D. **Desempenho de colhedoras semi-montadas de uma e de duas fileiras, para colheita mecanizada direta de milho**. 2008. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008

MACHADO, R. L. T.; FERREIRA, M. F.; MACHADO, A. L. T.; DOS REIS, Â. V.; BUTZKE, H. P. Força de tração de semeadoras para plantio direto: informações de campo x informações de catálogo. **Tecno-Lógica**, v.11, p. 15-17, 2007.

MACHADO, M. V. M. **Estudo de números índices e correlação entre política cambial e contas externas do Brasil na década de 2000**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa da UFSM, 2012.

MAHIRAH, J.; YAMAMOTO, K.; MIYAMOTO, M.; KONDO, N.; OGAWA, Y.; SUZUKI, T.; AHMAD, U. Monitoring harvested paddy during combine harvesting using a machine vision-Double lighting system. **Engineering in agriculture, environment and food**, v. 10, n. 2, p. 140-149, 2017.

MANTOVANI, E. C. Componentes do sistema de colheita devem atuar em perfeita sintonia. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.

MASSEY FERGUSON. Manual do Operador Colheitadeiras MF 1630 - MF 3640 - MF 5650. 7. ed. Canoas: Massey Ferguson, 1987. 150 p.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. D. O.; BARROS, M. D. S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. **XLI SBPO**, v.1, p. 49. 2009.

MAZETTO, F. R. **Avaliação dos desempenhos operacional e energético e da ergonomia de colhedoras de soja (Glycine max (L.) Merrill) no sistema de plantio direto**. 2008. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu. 2008.

MENEZES, P. C. D.; SILVA, R. P. D.; CARNEIRO, F. M.; GIRIO, L. A. D. S.; OLIVEIRA, M. F. D.; VOLTARELLI, M. A. Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations?. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 10, p. 732-738, 2018.

NUNES, J. L. da S. **Colheita** Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/colheita_361522.html> setembro de 2016. Acesso em: 03 de agosto de 2020,

PECHE FILHO, A.; STORINO, M. Plante com a melhor tecnologia. **Revista A Granja. Porto Alegre**, n. 574, p. 12-32, 1996.

PORTELLA, J. A. **Colheita de Grãos Mecanizada**. 1. Ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. 190 p.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. Florianópolis. Tese de Doutorado em Eng. Mecânica, 266p., Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SANTOS, C. G.; DALLMEYER, A. Colhedoras: diferentes sistemas de trilha e separação. **A Granja**, n. 792, dez. 2014. Disponível em: Acesso em: 10 mar. 2020.

SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; DE SOUZA PÁDUA, T.; QUEIROZ, D. P. **Colheita do café mecanizada e semimecanizada**. Lavras: UFLA, 2001. 88p. (Boletim de Extensão).

SILVA, G. L. S. P.; CARMO, H. C. E. Como medir a produtividade agrícola: conceitos, métodos e aplicações no caso de São Paulo. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.33, t.1/2, p.139-170, 1986.

SILVA, M. R. D.; DANIEL, L. A.; PECHE FILHO, A. Uso da teoria de números índices para adequação de semeadoras-adubadoras de precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.2, p.222-229, 2007.

SOSBAI. SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: SOSBAI, 2014. 192 p.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P.; BUCKMASTER, D. R. **Engineering principles of agricultural machines**. ASAE text book. 1993.

STEINKE, R. G. **Projeto de uma interface homem-máquina de uma colhedora de grãos com foco em usabilidade**. (2019). Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Pinambi, p. 74. 2019.

STOLF, R. Para cada trator, um implemento. **Guia Rural Tratores e Máquinas Agrícolas**, São Paulo, v.1, n.1, p.120-123. 1990.

TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; MAGALHÃES, S. C.; COSTA, B. O. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.710-719, 2008.

TREVIZANO, W. A.; FREITAS, A. L. P.. Emprego do Método da Análise Hierárquica (AHP) na seleção de Processadores. **XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção**, Porto Alegre, 2005.

TAKAMATSU, R. T.; LAMOUNIER, W. M. A importância da atualização monetária de valores para a análise das demonstrações financeiras. **Contabilidade Vista & Revista**, v. 17, n. 2, p. 67-87, 2006.

UEKA, Y.; MATSUI, M.; INOUE, E.; MORI, K.; OKAYASU, T.; MITSUOKA, M. Turbulent flow characteristics of the cleaning wind in combine harvester. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 5, n. 3, p. 102-106, 2012.

VEIGA, M. G. **Modelo empírico para a seleção de máquinas agrícolas na cultura da soja considerando a pontualidade na semeadura**. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, p.75. 2000.

VICENTE, J.R.; ANEFALOS, L.C. Dimensões de safras agrícolas brasileiras: proposta de mensuração empregando números-índices agregativos. **Informações Econômicas**, v. 30, n. 6, p. 76-90, jun. 2000.

WERNKE, R.; BORNIA, A. C. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças**, 12(25), p. 60-71. 2001.

YIN, R. K. Estudo de Caso: Planejamento e métodos. **Bookman editora**. 2015.

