



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**JORDANA DE SOUZA NOGUEIRA**

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ESTRATÉGIA DE PLANTIO  
SUSTENTÁVEL EM PROPRIEDADES RURAIS**

**SUMÉ - PB**

**2022**

**JORDANA DE SOUZA NOGUEIRA**

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ESTRATÉGIA DE PLANTIO  
SUSTENTÁVEL EM PROPRIEDADES RURAIS**

**Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Produção.**

**Orientadora: Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.**

**SUMÉ - PB**

**2022**



N778m Nogueira, Jordana de Souza.  
Modelo multicritério para estratégia de plantio sustentável em propriedades rurais. / Jordana de Souza Nogueira. - 2022.

64 f.

Orientadora: Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Modelo multicritério de apoio à decisão. 2. Agricultura sustentável. 3. Sustentabilidade na agricultura. 4. Estratégia de plantio sustentável. 5. PROMETHEE II. I. Araújo, Maria Creuza Borges de. II. Título.

CDU: 005.53(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**JORDANA DE SOUZA NOGUEIRA**

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ESTRATÉGIA DE PLANTIO  
SUSTENTÁVEL EM PROPRIEDADES RURAIS**

**Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Produção.**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Professora Dra. Maria Creuza Borges de Araújo.  
Orientadora – UAEP/CDSA/UFCG**

---

**Professora Ma. Fernanda Raquel Roberto Pereira.  
Examinadora I – UAEP/CDSA/UFCG**

---

**Professor Dr. Yuri Laio Teixeira Veras Silva.  
Examinador II – UATEC/CDSA/UFCG**

**Trabalho aprovado em: 30 de agosto de 2022.**

**SUMÉ - PB**

Aos meus alicerces, meu pai, Francisco Carneiro, e minha mãe, Janicleide Nogueira, por todo amor e apoio incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Senhor e meu Deus, por ter me sustentado durante toda esta trajetória e derramado maravilhosa Graça sobre minha vida, me mostrando que jamais estive sozinha.

Aos meus pais Francisco e Janicleide e a minha irmã Fernanda, por todo amor a mim dedicado, por sempre estarem presentes me fortalecendo nos momentos de turbulência, sempre desejando me ver bem e realizada. Em especial ao meu sobrinho, Francisco Neto, o motivo maior para que eu nunca desistisse. Essa conquista é nossa.

À minha orientadora, professora e amiga, Maria Creuza Borges de Araújo por ter me proporcionado a honra de ser sua orientanda, pela paciência, pelos ensinamentos, por toda sua contribuição para a realização e conclusão deste trabalho e por todo apoio disponibilizado.

Aos meus amigos e companheiros de universidade que hoje são família. Em especial as minhas amigas Marcielly e Keren por estarem sempre presentes em todos os momentos, pelo apoio e força incondicional que me dedicou durante toda graduação. Aos amigos de longas datas, que sempre torceram por mim e estiveram comigo todo tempo.

A todos os professores que compõem o corpo docente do curso de Engenharia de Produção do campus Sumé que colaboraram para a minha formação acadêmica.

NOGUEIRA, Jordana de Souza. **Modelo multicritério para estratégia de plantio sustentável em propriedades rurais**. 2022. 64f. (Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia). Curso de Engenharia de Produção, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2022.

## RESUMO

Em pequenas propriedades rurais, os agricultores costumam ter restrições financeiras e de espaço, o que traz a necessidade de otimizar recursos para o melhor aproveitamento da cultura. Além disso, a agricultura tradicional promove diversos problemas, como degradação e diminuição da produtividade. Nesse sentido, o plantio sustentável, que engloba os três pilares da sustentabilidade (social, financeiro e ambiental), concilia o cuidado com o meio ambiente com a preocupação com a produtividade, tornando-se uma saída para promover melhorias monetárias com políticas de proteção ambiental para os agricultores. Dessa forma, a presente pesquisa propõe um modelo multicritério de apoio a decisão que emprega o PROMETHEE II para determinar estratégia de plantio sustentável em propriedades rurais. O modelo proposto define quais estratégia de plantio o agricultor deve utilizar, considerando diversos critérios relacionados aos pilares da sustentabilidade. Neste contexto, observa-se como principais vantagens da sistemática: tomada de decisão estruturada e objetiva, considerando diversos critérios, que podem ser qualitativos ou quantitativos, a facilitação do manejo do plantio e o aumento da produtividade e rentabilidade das propriedades rurais, respeitando os pilares da sustentabilidade.

**Palavras-chaves:** modelo multicritério de apoio a decisão; sustentabilidade; PROMETHEE, agricultura sustentável.

NOGUEIRA, Jordana de Souza. **Multicriteria model for sustainable planting strategy on farms**. 2022. 64f. (Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia). Curso de Engenharia de Produção, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2022.

## ABSTRACT

In small farms, farmers usually have financial and space restrictions, which brings the need to optimize resources for the best use of the crop. Moreover, traditional agriculture promotes several problems, such as degradation and decreased productivity. In this sense, sustainable planting, which encompasses the three pillars of sustainability (social, financial, and environmental), reconciles the care for the environment with the concern for productivity, becoming a way to promote monetary improvements with environmental protection policies for farmers. Thus, the present research proposes a multi-criteria decision support model that employs PROMETHEE II to determine sustainable planting strategy on farms. The proposed model defines which planting strategy the farmer should use, considering several criteria related to the pillars of sustainability. In this context, the main advantages of the system are: structured and objective decision making, considering several criteria, which can be qualitative or quantitative, the facilitation of planting management and the increase of productivity and profitability of rural properties, respecting the pillars of sustainability.

**Keywords:** multicriteria decision support model; sustainability; PROMETHEE; sustainable agriculture.



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> -	Critérios para escolha de estratégia de plantio sustentável.....	<b>22</b>
<b>Quadro 2</b> -	Critérios Generalizados.....	<b>26</b>
<b>Quadro 3</b> -	Níveis de preferência do critério custo-benefício.....	<b>39</b>
<b>Quadro 4</b> -	Níveis de referência para o critério uso de fertilizantes orgânicos.....	<b>40</b>
<b>Quadro 5</b> -	Níveis de preferência para o critério diversidade de culturas.....	<b>40</b>
<b>Quadro 6</b> -	Níveis de preferência para o critério conservação das propriedades físicas do solo.....	<b>41</b>
<b>Quadro 7</b> -	Níveis de preferência para o critério participação social.....	<b>41</b>
<b>Quadro 8</b> -	Critérios de Avaliação.....	<b>42</b>
<b>Quadro 9</b> -	Alternativas de Avaliação.....	<b>42</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>AS</b>	Agricultura Sustentável
<b>FAO</b>	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
<b>iLPF</b>	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
<b>MIP</b>	Manejo Integrado de Pragas
<b>MOS</b>	Matéria Orgânica de Solo
<b>ONU</b>	Organizações das Nações Unidas
<b>PO</b>	Pesquisa Operacional
<b>TBL</b>	Triple Bottom Line

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS.....	11
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>11</b>
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	14
2.2	AGRICULTURA SUSTENTÁVEL.....	16
<b>2.2.1</b>	<b>Agricultura familiar.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Estratégias de plantio sustentável.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Critérios para escolha da estratégia de plantio sustentável.....</b>	<b>21</b>
2.3	APOIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO.....	23
2.4	PROMETHEE II.....	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	29
3.2	ETAPAS DA PESQUISA.....	30
<b>4</b>	<b>MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA DETERMINAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE PLANTIO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>33</b>
4.1	DESCRIÇÃO DO MODELO.....	33
<b>4.1.1</b>	<b>Estruturação do problema.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Determinação da estratégia de plantio.....</b>	<b>36</b>
4.2	APLICAÇÃO DO MODELO.....	37
<b>4.2.1</b>	<b>Caracterização da propriedade.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Estruturação do problema.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Determinação da estratégia.....</b>	<b>43</b>
4.3	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	46
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Firmino e Fonseca (2008), desde a Revolução industrial o planeta vem sofrendo com as transformações ambientais causadas pela industrialização e pela atividade agrícola não conservacionista. May *et al.* (2003), apontam que os recursos naturais utilizados nos processos industriais precisam ser utilizados de forma racional, sem comprometer as gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades.

É importante destacar que a agricultura é uma das atividades que apresenta maior interferência no meio ambiente. Nesse sentido, Firmino e Fonseca (2008) consideram como uma das principais ameaças ao meio ambiente, a tendência a monocultura, o uso de agrotóxicos e a conseqüente extinção de sistemas tradicionais de cultivo. As causas dos impactos da agricultura sobre o ambiente têm origem na demanda de mercado, e suas conseqüências implicam em custos ambientais e ecológicos de difícil mensuração.

Dessa forma, muito embora uma agricultura moderna, baseada em avanços científicos, aumente a produtividade, proteja e preserve o meio ambiente, tem havido uma preocupação crescente em minimizar excessivamente eventuais danos, a vista disso surge o que chamamos de “agricultura sustentável” (PATERNIANI, 2001). Allen *et al.* (1991) conceituam a agricultura sustentável como aquela que faz o balanço equilibrado entre interesses ambientais, viabilidade econômica, e justiça social, entre todos os setores da sociedade.

Dentro deste contexto, de acordo com a FAO (1993), a agricultura sustentável tem como objetivo a satisfação contínua das necessidades, não só das gerações atuais, mas também das futuras, conservando o solo, a água e os recursos genéticos vegetais e animais.

Para isso, tais práticas não devem degradar o meio ambiente, mas precisam ser tecnicamente adequadas, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis. Além disto uma questão importante na agricultura sustentável é o plantio sustentável, sendo assim a escolha de estratégias de plantio sustentável deve considerar vários fatores, como clima da região, características físicas do solo, tipos de cultura, entre outros.

Logo, é importante tomar decisões que englobem vários critérios simultaneamente, tornando-se relevante para compreender as questões que impactam na determinação da estratégia. Neste sentido, é fundamental evidenciar que o problema abordado neste estudo se adequa a um modelo multicritério, visto que existem várias questões que influenciam essa problemática.

Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo propor um modelo multicritério de apoio à decisão para planejamento de plantio sustentável em pequenas propriedades rurais,

considerando as alternativas e os critérios importantes para o planejamento de agricultura sustentável. Em seguida, o modelo será aplicado em uma propriedade rural no município de Alagoa Nova – PB, a fim de validar sua estruturação.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.2 Objetivo geral

Propor um modelo multicritério de apoio à decisão para planejamento de agricultura sustentável em pequenas propriedades rurais.

### 1.1.3 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento bibliográfico para embasamento teórico do estudo;
- Determinar as alternativas e critérios importantes para o planejamento de agricultura sustentável;
- Definir um método adequado para o planejamento de plantio sustentável;
- Aplicar o modelo proposto em uma propriedade rural de pequeno porte.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Bettiol e Ghini (2001), a preocupação da sociedade com o impacto da agricultura no ambiente e a contaminação da cadeia alimentar com pesticidas vem alterando o cenário agrícola, resultando na presença de segmentos de mercado ávidos por produtos diferenciados, tanto aqueles produzidos sem uso de pesticidas, como por aqueles portadores de selos de que os pesticidas foram utilizados adequadamente.

Essas pressões têm levado ao desenvolvimento de sistemas de cultivo mais sustentáveis e, portanto, menos dependentes do uso de pesticidas. O conceito de agricultura sustentável envolve o manejo adequado dos recursos naturais, evitando a degradação do ambiente de forma a permitir a satisfação das necessidades humanas das gerações atuais e futuras (BIRD *et al.*, 1990).

De acordo com Assad e Almeida (2004), a agricultura sustentável pode se mostrar capaz de aglutinar forças para propor e implementar novas políticas públicas, a fim de promover a mudança do padrão tecnológico altamente impactante e desagregador da agricultura atual.

Essas políticas, alicerçadas em uma base tecnológica consistente e experimentada, poderão atender aos desafios antes mencionados, trazendo maior inclusão social, garantindo os patamares produtivos já conquistados (e em alguns casos até mesmo potencializando-os), promovendo maior proteção ambiental e melhorando a distribuição da renda gerada na agricultura.

Devido a essa complexidade esforços vêm sendo realizados por diferentes correntes de pesquisa afim de contribuir com a problemática. Dessa forma, o presente trabalho tem por finalidade auxiliar os responsáveis na determinação de práticas, planejamento e estratégia considerando vários critérios e peculiaridades, a fim de elencar soluções mais adequadas de plantio que estejam de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável.

Para a sociedade este trabalho é de grande importância, pois visa determinar estratégias de plantio adequadas. Assim, visa a redução de impactos ambientais, proporciona a utilização racional dos insumos, redução de custos.

Além disso, trás benefícios para a área acadêmica, visto que a Pesquisa Operacional (PO) é muito indicado para escolha de estratégias que leve em consideração vários critérios. Assim, pretende determinar um modelo multicritério para a solução do problema, que pode vir a ser usado por outros pesquisadores.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho em questão foi elaborado em cinco partes, que são descritas de forma resumida, abaixo. O Fluxograma 1 representa a esquematização da estrutura.

A primeira seção refere-se à introdução, na qual é abordada uma contextualização e dados a respeito da Agricultura Sustentável, além de apresentar os objetivos geral e específicos, a justificativa da pesquisa e a estruturação do trabalho.

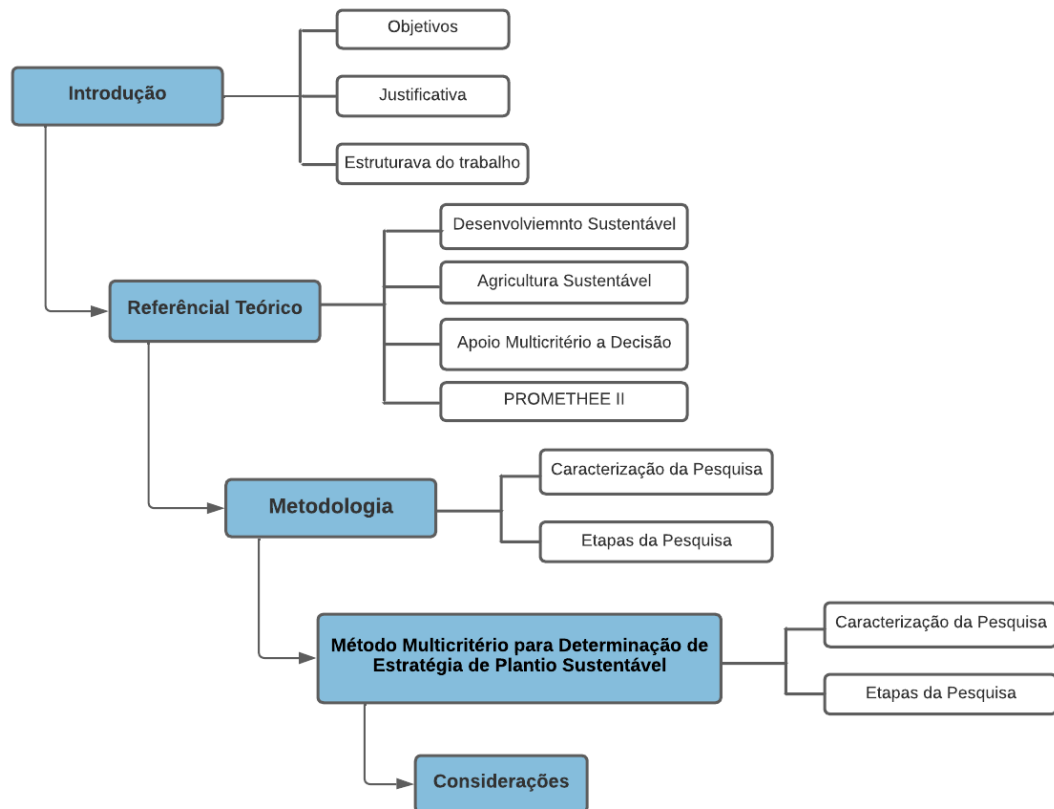
A segunda seção exibe o referencial teórico da pesquisa, construído a partir de um levantamento bibliográfico, expondo temas referentes à Agricultura Sustentável e Familiar, estratégias de plantio sustentável, fatores relacionados à agricultura sustentável e apoio multicritério à decisão.

A terceira seção trata-se da metodologia utilizada para realização da pesquisa. Esta seção descreve a caracterização do trabalho quanto a sua abordagem, a sua natureza, aos seus objetivos e aos seus procedimentos técnicos. Posteriormente, são descritas cada etapa desenvolvida para o desenrolar da pesquisa e uma contextualização sobre Modelo

Multicritério de Apoio à Decisão, definindo assim, o método escolhido para o modelo proposto, que foi o PROMETHEE II, da família PROMETHEE.

A quarta seção consiste na proposição de um modelo multicritério de apoio à decisão para escolha de estratégia de plantio sustentável, assim como a sua aplicação em uma propriedade rural de pequeno porte.

**Fluxograma 1 - Fluxo metodológico.**



Fonte: Autoria Própria (2022).

Por fim, a quinta seção apresenta as considerações finais sobre o Trabalho de Conclusão de Curso.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos utilizados como base para a realização do estudo. São tratados os seguintes temas: histórico do desenvolvimento sustentável, conceitos relacionados a agricultura sustentável e agricultura familiar. Por fim, introdução ao Apoio Multicritério à Decisão e Método PROMETHEE II.

### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

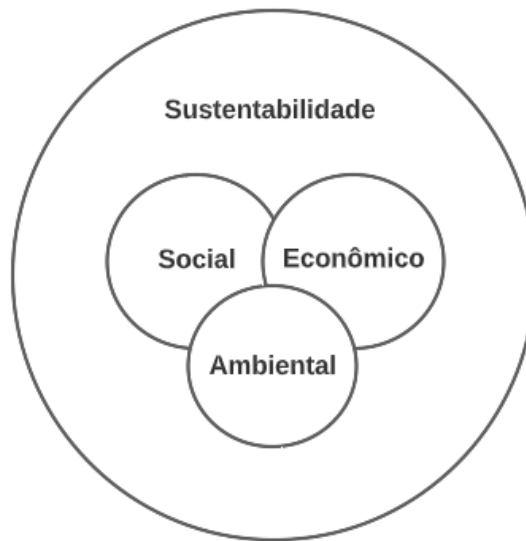
A primeira ideia de desenvolvimento sustentável surgiu em 1972, durante a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, na Suécia. Porém, segundo Fernando e Barros (2021) essa ideia só foi consolidada na década de 80, no “Relatório Brundtland”, e estava centrado em três eixos principais: crescimento econômico, equidade social e equilíbrio ecológico.

Segundo os autores esse conceito serviu de inspiração para a criação da Agenda 21, elaborada em 1990, na Eco-92, que reunia novas práticas sociais, econômicas e políticas com o propósito de conduzir a humanidade ao progresso, sem comprometer os recursos para as gerações futuras. Entretanto, Andrade e Peixoto (2022) comentam que o conceito de desenvolvimento sustentável só ganhou notoriedade e aplicabilidade prática com a criação do termo Triple Bottom Line por John Elkington, conhecido como o tripé da sustentabilidade.

Scharf (2004) também defende que o desenvolvimento sustentável estaria apoiado no tripé formado pelas dimensões ambientais, econômicas e sociais, ou seja, a sustentabilidade estaria condicionada ao desenvolvimento simultâneo dos três pilares. Para o autor, o objetivo do desenvolvimento sustentável seria a preservação da riqueza global que, no seu entendimento, se refere aos ativos financeiros, recursos naturais e qualidade de vida da população. A figura 2 expõe a representação dos pilares da sustentabilidade.



**Figura 1** - Pilares da Sustentabilidade.



**Fonte:** Adaptado de Verri (2016).

Costa e Ferezim (2021) e Elkington (2001) conceituam os três pilares da sustentabilidade da seguinte forma:

- Pilar Econômico: se resume ao lucro da empresa, portanto para calculá-lo os contadores utilizam apenas dados numéricos.
- Pilar Social: considera o capital humano, na forma de saúde, habilidades e educação, mas também deve abranger medidas mais amplas de saúde da sociedade e do potencial de criação de riqueza.
- Pilar Ambiental: considera o ‘capital natural crítico’, que seria aquele fundamental para a perpetuidade do ecossistema, e o capital natural renovável ou substituível, sendo este, no entendimento do autor, os recursos naturais renováveis, recuperáveis ou substituíveis.

De acordo com Lima *et al.* (2019), o TBL compreende a viabilidade dos negócios das empresas conforme a dinâmica entre aspectos econômico, social e ambiental. Esta análise ganhou conhecimento considerável, tornando-se componente das estratégias corporativas na inovação e na geração de valor. Desta forma, ainda segundo os autores, a sustentabilidade visa garantir que as ações e decisões realizadas no presente não limitem ou inviabilizem a existência saudável de uma empresa no futuro. O êxito das organizações não deve apenas ser medido pela sua performance econômica, mas também considerar os benefícios ao meio ambiente e à sociedade como parte das medidas de desempenho.

## 2.2 AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Segundo Costa (2010) a agricultura é uma atividade que permite ao homem produzir alimentos e recursos renováveis e contribui para o desenvolvimento rural. Para o autor, as consequências dos modelos de agricultura existentes tem induzido a procura de paradigmas para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável em todas as partes do mundo, apenas com denominações diferentes, como é o caso da Agricultura botânica, Agricultura Biológica, Agricultura Ecológica, Agricultura Natural, Agricultura Orgânica e Agricultura Regenerativa.

De acordo com Assad e Almeida (2004) as preocupações com a agricultura no Brasil começaram com o surgimento da Revolução Verde no início da década de 1970, mas só ganharam notoriedade na década de 90, quando as medidas mitigadoras para os problemas socioambientais da agricultura passaram a apresentar resultados significativos. Segundo os autores a agricultura sustentável (AS) é uma noção nova, frequentemente associada a ideia de desenvolvimento sustentável, entretanto ainda com uma definição superficial.

Melo e Candido (2013) discutem que a agricultura, como qualquer outra atividade humana, deve levar em conta as dimensões econômica, ambiental e social para se manter sustentável. Para Costa (2010) o ponto de vista ambiental inclui a redução do uso de recursos não-renováveis e um uso racional dos recursos renováveis, mantendo e/ou aumentando sua qualidade através da minimização de perdas. A viabilidade econômica por sua vez pode ser alcançada através do uso de tecnologias apropriadas e de baixo custo, diminuição do uso de fertilizantes e pesticidas, aumento da qualidade do produto e uso eficiente das terras e do trabalho.

Ainda segundo Costa (2010), os aspectos sociais da agricultura sustentável estão principalmente relacionados com a distribuição de renda equitativa, acesso aos recursos e a informação e participação ativa nos processos e tomadas de decisão. Os métodos da agricultura sustentável convergem quanto a busca pelo equilíbrio entre o ser humano, conservação do meio ambiente e a produção agrícola (FÉLIX, 2018).

Nesse contexto “o objetivo de uma agricultura sustentável deve ser o de envolver o manejo eficiente dos recursos disponíveis, mantendo a produção nos níveis necessários para satisfazer às crescentes aspirações de uma também crescente população, sem degradar o meio ambiente” (FAO, 1989).

### 2.2.1 Agricultura familiar

Segundo Mello e Dias (2008) a agricultura familiar é uma forma de produção através da interação entre gestão e trabalho; são os próprios agricultores que dirigem o processo produtivo, trabalhando com a diversificação e utilizando o trabalho familiar, eventualmente complementado pelo trabalho assalariado. Wanderley (2009) entende a agricultura familiar como aquela em que a família, ao mesmo tempo em que é proprietária dos meios de produção, assume o trabalho no estabelecimento produtivo.

De acordo com Sauer (2008) a agricultura familiar surge com o objetivo de construir uma representação para o segmento social capaz de distanciá-lo da visão de atraso e ineficiência. Carvalho e Silva (2017) enfatizam que a agricultura familiar brasileira apresenta um grande potencial para produção agrícola, abastecendo o mercado interno e externo, assim como subsistência. Por essa razão, é imprescindível a busca por estratégias de produção e comercialização da agricultura familiar na busca de uma maior sustentabilidade (SANTOS *et al.* 2014).

Segundo Mello e Dias (2008) a ideia de uma ‘agricultura familiar sustentável’ indica o desejo social de sistemas produtivos que, simultaneamente, conservem os recursos naturais e forneçam produtos mais saudáveis, sem comprometer os níveis tecnológicos já alcançados de segurança alimentar. Nesse contexto, Altieri (2000) destaca que os sistemas de produção devem:

- Reduzir o uso de energia e recursos e regular a entrada total de energia, de modo que a relação entre saídas e entradas seja alta;
- Reduzir as perdas de nutrientes, detendo a lixiviação, o escoamento e a erosão, e melhorando a reciclagem de nutrientes com o uso de leguminosas, adubação orgânica e compostos, e outros mecanismos eficientes de reciclagem;
- Incentivar a produção local de cultivos adaptados ao meio natural e socioeconômico;
- Sustentar um excedente líquido desejável, preservando os recursos naturais, isto é, minimizando a degradação do solo;
- Reduzir custos e aumentar a eficiência e a viabilidade econômica das pequenas e médias unidades de produção agrícola, promovendo, assim, um sistema agrícola potencialmente resiliente.

Dessa forma, Santos *et al.* (2014) compreendem que para tratar da agricultura familiar é necessário dialogar com a perspectiva da sustentabilidade, onde as estratégias, as políticas públicas para o incentivo à produção e a comercialização possam subsidiar uma forma de

desenvolvimento local, pautado na equidade, na valorização dos agricultores e dos seus saberes, na diversidade da sua produção, de forma comprometida com o ambiente e a sociedade.

### **2.2.2 Estratégias de plantio sustentável**

Segundo Pretty (2008) as preocupações sobre sustentabilidade na agricultura estão centradas na necessidade do desenvolvimento de tecnologias e práticas agrícolas que: não tenham efeitos adversos no meio ambiente; sejam acessíveis e efetivas para os produtores rurais e; levem a melhoria tanto da produtividade agrícola como na produção de alimentos. Diante do exposto, surgem estratégias sustentáveis de plantio, tais como: rotação de culturas, adubação verde, plantio direto, integração lavoura-pecuária- floresta, manejo de pastagem, controle de queimadas e descarte correto de embalagens de agrotóxicos.

De acordo com Franchini *et al.* (2011) a rotação de culturas é definida como sendo a alternância ordenada de diferentes culturas, em determinado espaço de tempo (ciclo), na mesma área e na mesma estação do ano. De acordo com os autores, a sucessão de culturas é definida como o ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, cada uma cultivada em uma estação do ano. Ainda segundo os autores as culturas componentes de um sistema de rotação de culturas devem atender ao maior número possível dos seguintes princípios:

- produzir quantidade suficiente de fitomassa da parte aérea e raízes, visando o aumento do teor de MOS (matéria orgânica de solo) e a formação de cobertura morta para controlar os processos erosivos, diminuir as oscilações de temperatura e reduzir as perdas de água por evaporação;
- promover condições favoráveis de solo que diminuam a suscetibilidade das plantas aos danos de pragas e doenças e/ou contribuam para a formação de um ambiente supressor às mesmas;
- apresentar exigências nutricionais e capacidade de aproveitamento de nutrientes diferenciadas (leguminosas e gramíneas, por exemplo);
- apresentar suscetibilidade a pragas e doenças diferentes, evitando as espécies que sejam hospedeiras de pragas e doenças de importância econômica para as culturas principais;

- permitir a diversificação de princípios ativos e mecanismos de ação de herbicidas, inseticidas e fungicidas, visando evitar a seleção de espécies/biótipos tolerantes/resistentes;
- reduzir o tempo em que a área permanece sem culturas vivas, contemplando a inclusão, em alguma fase, de culturas caracterizadas por alta produção de fitomassa e sistema radicular profundo, agressivo e abundante, visando melhorar a qualidade do solo;
- resultar em renda direta pela produção de grãos, sementes ou forragem, ou indireta, através de efeitos positivos sobre as culturas subsequentes.

Segundo Karlen *et al.* (1994), tem-se estimulado a adoção da rotação para manter e/ou aumentar os níveis de matéria orgânica do solo, para a criação de poros biológicos, para a melhoria da estrutura do solo e fornecimento de suficiente palhada na superfície do solo. No entanto, para ter sucesso no manejo, outros fatores, como rotação e sucessão de culturas, manejo integrado de pragas, doenças e cobertura morta, são primordiais para garantir a sustentabilidade do sistema (ANSELMO *et al.*, 2013).

De acordo com Salton *et al.*, (1998) o plantio direto é a semeadura de culturas sem preparo do solo e com a presença de cobertura morta ou palha, constituída dos restos vegetais originados de cultura anterior, conduzida especificamente para produzir palha e às vezes, também, para grãos. Segundo os autores, geralmente, o plantio direto é aplicado no cultivo de sucessões simples (tais como soja/milheto, soja/milho, safrinha - milho semeado de dezembro até o final de fevereiro-, soja/trigo, soja/ aveia-preta, etc.) por vários anos seguidos, não se utilizando, portanto, um sistema organizado de rotação de culturas.

Salton *et al.* (1998), citam os seguintes benefícios da prática do plantio direto:

- Melhora da qualidade da água;
- Redução de custos com recuperação de estradas e carregadores;
- Aumento da produtividade e lucros de maneira geral;
- Melhora da qualidade de vida.

Espíndola *et al.* (1997), definem a adubação verde como sendo a utilização de plantas em rotação ou consórcio com as culturas de interesse econômico. Tais plantas podem ser incorporadas ao solo ou roçadas e mantidas na superfície, proporcionando, em geral, uma melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo. Essa técnica apresenta como vantagens: fixação biológica de nitrogênio e proteção e melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo.

A integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) é definida como uma das estratégias de produção sustentável que integra as atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão, ou rotação e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agrossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização e a viabilidade econômica da atividade agropecuária (ALVARENGA *et al.*, 2010). De acordo com o autor, a intensificação da produção observadas em sistemas iLPF acarreta diversos benefícios ao produtor e ao meio ambiente, são eles:

- Melhora das condições físicas, químicas e biológicas do solo;
- Aumenta a ciclagem e a eficiência na utilização dos nutrientes;
- Reduz custos de produção da atividade agrícola e pecuária;
- Diversifica e estabiliza a renda na propriedade rural;
- Viabiliza a recuperação de áreas com pastagens degradadas.

Entretanto, segundo Albuquerque, Sangoi e Ender (2001), a compactação do solo causada pelo pisoteio animal tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas em sistema de integração lavoura-pecuária. Segundo Kichel, Miranda e Zimmer (1997), a degradação de pastagem é um termo usado para designar um processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade e da capacidade de regeneração natural de uma dada pastagem, tornando-a incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, e de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras.

Sendo assim torna-se relevante a recuperação da pastagem. Carvalho *et al.* (2017), consideram que a utilização desta prática aperfeiçoa o aproveitamento da área, recupera as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e viabiliza a produção de proteína animal, devido ao aumento da capacidade de suporte, não obstante, impede novos desmatamentos preservando a fauna e a flora.

De acordo com Almussa e Schmidt (2009), o descarte inadequado das embalagens dos defensivos ou sua lavagem de modo inapropriado também contribuem para contaminação tanto do meio ambiente quanto do homem., interferindo na saúde da população, e, principalmente, na saúde do trabalhador rural, que está constantemente em contato direto com essas substâncias. Neste sentido, segundo Bernardi *et al.*, (2018), a atenção para utilização e armazenamento adequado das embalagens de agrotóxicos vazias e cheias deve sempre ser redobrada, a fim de evitar uma série de consequências aos manipuladores e contaminação ao meio ambiente. Para isso, os autores consideram que as fiscalizações devem ser rígidas e

controladas de acordo com a legislação, trabalhos de educação ambiental intensificada aos produtores quanto ao uso seguro, manejo, armazenamento e descarte, visando à conscientização e atenção máxima a esta questão. De acordo com os autores, algumas recomendações são necessárias para o correto armazenamento das embalagens:

- O depósito deve ficar num local livre de inundações e separado de fontes de água, de residências e de instalações para animais;
- A construção deve ser de alvenaria (tijolos), com boa ventilação e iluminação natural, não permitindo o acesso de animais, crianças e pessoas não autorizadas;
- Colocar cartazes com símbolo de perigo;
- O piso e telhado devem ser cimentados e sem rachaduras, para que o depósito fique sempre seco;
- A instalação elétrica deve estar em bom estado de conservação para evitar curto-circuito e incêndio;
- As embalagens devem ser colocadas em local alto, para evitar o contato com o piso;
- As embalagens devem ser estáveis e afastadas das paredes e do teto, bem como armazenar e utilizar os agrotóxicos em suas embalagens originais.

### **2.2.3 Critérios para escolha da estratégia de plantio sustentável**

O uso de estratégias apropriadas é essencial para o sucesso da agricultura sustentável. Para a escolha de estratégias assertivas é necessário o uso de critérios adequados às necessidades de cada propriedade rural, considerando o tripé da sustentabilidade (social, econômico e ambiental). De acordo com Ferreira (2020), para que estes modelos resultem em decisões corretas, é importante considerar critérios adequados pois, embora o modelo elaborado seja apropriado, com estruturas matemáticas corretas, se os inputs utilizados não forem adequados, os resultados não estarão de acordo com as necessidades do decisor

Diante disso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o intuito de verificar quais critérios mais utilizados na literatura para a escolha de estratégia de plantio sustentável. As buscas dos artigos foram realizadas nas bases *Scopus* e *Web of Science*, considerando quatro combinações de palavras-chaves: “agriculture” AND “sustain\*”, “plant\*” AND “sustain\*”, “agricultura” AND “sustenta\*” e “plantio” AND “sustenta\*”,. Os critérios de exclusão para retirada de artigos, foram: itens que não fosse de língua inglesa ou portuguesas, artigos de congressos, textos não acadêmicos e duplicações. Como resultado, foram considerados 10 artigos. Os resultados da busca estão dispostos no Quadro 1.

**Quadro 1** - Critérios para escolha de estratégia de plantio sustentável.

<b>Pilar</b>	<b>Fatores</b>	<b>Critérios</b>	<b>Autores</b>
<b>Ambiental</b>	<b>Agroecologia</b>	Produtos Orgânicos, Uso de fertilizantes orgânicos, Diversidade de culturas, Restrições agroecológicas, Rendimento biológico do solo.	Matos <i>et al.</i> (2020), Souza <i>et al.</i> , (2018)
	<b>Estabilidade</b>	Extensificação, Conservação de recursos naturais, Diversidade, Vulnerabilidade do sistema, Conservação das propriedades físicas do solo, Uso de maquinário.	Costa (2010), Stallo <i>et al.</i> , (2021),
	<b>Proteção</b>	Gestão integrada de pragas, Controle Biológico.	Khwidzhili e Worth (2019), Khwidzhili e Worth (2020), Fernando <i>et al.</i> (2020), Freiberg (2020)
	<b>Clima</b>	Condições climáticas, Risco de desastres naturais.	Souza e Freire (2021)
<b>Econômico</b>	<b>Produtividade</b>	Eficiência, Produtividade do trabalho, Valor Líquido Atual, Relação custo – benefício com atividade animal, Manter e aumentar a produtividade biológica.	Costa (2010), Khwidzhili e Worth (2019), Khwidzhili e Worth (2020), Moretti <i>et al.</i> (2018), Souza <i>et al.</i> (2018),
	<b>Adaptabilidade</b>	Capacidade de alteração e inovação, Tecnologia.	Costa (2010), Graffney (2019)
	<b>Viabilidade econômica</b>	Lucratividade, Investimento, Preço de matérias-primas, inflação	Khwidzhili e Worth (2019), Khwidzhili e Worth (2020).
	<b>Autonomia</b>	Autossuficiência, Organização, Acesso a recursos	Costa (2010)
<b>Social</b>	<b>Relações comunitárias</b>	Distribuição de custos e/ou benefícios, Participação social, Capital Social, Existência de cooperativas, Redução de custos.	Costa (2010), Abdu-Raheem e Worth (2013), Khwidzhili e Worth (2019), Khwidzhili e Worth (2020), Souza <i>et al.</i> (2018), Graffney (2019)
	<b>Conhecimento</b>	Troca de conhecimento, Educação, Capacidade de aprendizagem, Informações sobre o setor.	Costa (2010), Abdu-Raheem e Worth (2013)
	<b>Risco</b>	Risco de roubos, Risco de mercado, Risco financeiro.	Khwidzhili e Worth (2019), Khwidzhili e Worth (2020)

**Fonte:** Autoria própria (2022).

De acordo com a tabela, são encontrados na literatura, critérios pertencentes a todos os pilares da sustentabilidade. É importante ressaltar que os critérios mais citados pelos autores



pertencem ao grupo de fatores: Produtividade, Relações Comunitárias e Proteção, já os critérios menos considerados estão relacionados aos fatores: Clima e Autonomia foram pouco considerados. Os autores Khwidzhili e Worth (2019 e 2020) e Costa (2010) consideraram critérios pertencentes a todos os pilares da sustentabilidade.

Para determinação dos critérios a serem utilizados no problema proposto, serão considerados como base os critérios presentes na literatura. Para que o modelo chegue a um resultado considerado sustentável, é necessário que se utilize critérios pertencentes a todos os pilares da sustentabilidade.

### 2.3 APOIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO

Segundo Pomerol e Romero (2000) tanto na vida cotidiana como nas organizações somos muitas vezes confrontados com escolhas difíceis, em que somos incapazes de decidir entre uma série de imperativos. Entretanto, ao longo dos tempos, a necessidade de melhores decisões levou à busca de abordagens sistemáticas e estruturadas que conduzissem a um processo decisório mais satisfatório (MEIRELLES; GOMES, 2009).

Diante disso, Caiado *et al.* (2016), afirmam que o apoio à decisão multicritério surge como um conjunto de métodos e técnicas para ajudar e apoiar as pessoas e organizações a tomar decisões sob a influência de uma variedade de critérios e está enraizada em um conceito alternativo de otimização em que vários critérios caracterizam a alternativa mais satisfatória. “Um problema de decisão multicritério consiste numa situação, em que há pelo menos duas alternativas de ação para se escolher, e essa escolha é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si” (ALMEIDA, 2013).

De acordo com Meirelles e Gomes (2009) o objetivo principal de uma ferramenta de apoio à decisão é aprimorar sua racionalidade, ou seja, aumentar a perspectiva de que uma escolha conduza a um resultado satisfatório. Escolha racional pode ser definida como sendo aquela que se baseia em tudo que o decisor sabe, julga e sente, satisfazendo suas preferências de forma eficaz e lógica.

Segundo Gomes e Maia (2012) no modelo para tomada de decisão estão compreendidos os seguintes componentes: critérios, pesos e as classificações que são dadas para cada alternativa, em cada critério. Ainda de acordo com os autores, pressupondo-se o conhecimento das preferências dos atores da decisão e a qualidade da avaliação, pode-se admitir que uma ação seja tão boa, melhor ou pior que outra, ou seja, hierarquizar as alternativas.

Almeida (2013) divide o processo de decisão multicritério em três etapas: a primeira fase faz referência ao conhecimento de elementos básicos para a formulação do problema de decisão; a segunda fase envolve a definição do modelo e a definição dos dados do mesmo e sua forma de avaliação, e a terceira fase é referente a análise e geração dos resultados do modelo. Segundo Gomes *et al.* (2004), os métodos de apoio multicritério à decisão têm um lado científico, mas ao mesmo tempo, subjetivo, apresentando consigo a capacidade de agregar todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com o objetivo de permitir a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisão.

Segundo Bouyssou (1986) uma abordagem multicritério apresenta as seguintes vantagens:

- Torna viável a construção de uma base para o diálogo entre analistas e decisores, que fazem uso de diversos pontos de vista comuns;
- Provê facilidade em tratar incorporar incertezas dos dados sobre cada ponto de vista;
- Permite entender cada alternativa como um compromisso entre objetivos em conflito. Este argumento destaca o fato de que raramente será encontrada uma situação em que exista uma alternativa superior às restantes sobre todos os pontos de vista.

Roy e Bouyssou (1993) afirmam que no contexto do apoio à decisão, o resultado pretendido em determinado problema pode ser identificado entre quatro tipos de problemática de referência, descritas a seguir:

- Problemática  $P\delta$  (descrição ou cognição) – Objetiva esclarecer a decisão por uma descrição em uma linguagem adequada;
- Problemática  $P\alpha$  (seleção) – Tem como objetivo recomendar a escolha de uma alternativa;
- Problemática  $P\gamma$  (ordenação) – O processo de decisão objetiva a recomendação de uma ordenação das alternativas;
- Problemática  $P\beta$  (alocação em classes) – O objetivo do processo de seleção é recomendar a triagem das alternativas em categorias (classes) preestabelecidas, podendo ser ordenadas ou não.

De acordo com o tipo de problemática, os dados disponíveis e as informações necessárias para a decisão, os métodos multicritério, segundo Vasconcelos et al. (2013) podem ser classificados segundo três abordagens:

- a) Métodos com critério único de síntese: onde as pontuações obtidas em cada critério são convertidas em uma pontuação única. Admitem compensação, isto é, um baixo desempenho em um critério pode ser compensado por um alto desempenho em outro critério;
- b) Métodos de sobreclassificação: para Almeida (2013) apresentam pontuação para cada alternativa, conforme feito pelos métodos com critério único de síntese, mas admitem a possibilidade de incapacidade de realizar a comparação. Também não utilizam avaliações compensatórias;
- c) Métodos alternativos: que utilizam programação linear multiobjetivo.

Assim sendo, para o presente estudo, foi utilizado um método de sobreclassificação, que melhor se adequa ao contexto do problema, o PROMETHEE II, para escolha da melhor estratégia de plantio.

## 2.4 PROMETHEE II

O método PROMETHEE (Preference Ranking Method of Enrichment Evaluation) (BRANS E VINCKE, 1985), consiste em construir uma relação de sobreclassificação de valores (VINCKE, 1992). Segundo Almeida (2012) os métodos da família PROMETHEE são caracterizados como métodos de sobreclassificação, que utilizam da metodologia de comparação par a par entre todas as alternativas para obter uma relação de prevalência, que leva à determinação da solução mais adequada para o problema estudado.

De acordo com Cavalcante (2003), o PROMETHEE é considerado um método muito simples, pois os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm algum significado físico ou econômico de fácil assimilação pelo decisor, tornando-se de melhor entendimento que outras metodologias.

Dentre os métodos da família, destaca-se o PROMETHEE II, utilizado como base para este estudo. Este método é apresentado em dois módulos de operação: (i) construção das relações de sobreclassificação e (ii) exploração dessas relações para o apoio a decisão (Brans & Mareschal, 2002).

Segundo Almeida *et al.* (2015), no primeiro módulo, os atributos dos critérios do problema de decisão são avaliados para indicar o intervalo de diferenças entre as

contribuições de cada critério. Assim, de acordo com Brans e Vincke (1985), a noção de critério é baseada na introdução de uma função, que pode ser estabelecida de 6 maneiras, com casos em que o decisor pode inserir no processo limiares de indiferença ou de preferência, ou ambas, por uma ação `a` em relação a `b`, definida separadamente para cada critério e com valores entre 0 e 1. O Quadro 2 mostra as 6 funções estabelecidas pelos autores.

**Quadro 2 - Critérios Generalizados**

Critério Generalizado	Definição Analítica	Forma	Parâmetros
I. Critério Usual	$H(d) = \begin{cases} 0, & d = 0 \\ 1, &  d  > 0 \end{cases}$		-
II. Quase Critério	$H(d) = \begin{cases} 0, &  d  \leq q \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases}$		q
III. Critério com preferência linear	$H(d) = \begin{cases} \frac{ d }{p}, &  d  \leq p \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases}$		p
IV. Critério de nível	$H(d) = \begin{cases} 0, &  d  \leq q \\ \frac{1}{2}, & q <  d  \leq p \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases}$		q, p
V. Critério com preferência linear e área de indiferença	$H(d) = \begin{cases} 0, &  d  \leq q \\ \frac{ d  - q}{p - q}, & q <  d  \leq p \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases}$		q, p
VI. Critério Gaussiano	$H(d) = 1 - \exp\left\{-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right\}$		$\sigma$

**Fonte:** Brans e Vincke (1985).

Assim, considera-se o grau de sobreclassificação  $\pi(a,b)$ , calculado com base na comparação entre duas alternativas  $a$  e  $b$ , descrita por  $P_i(a,b)$ , relacionado a um critério particular e o intervalo de preferência entre (0,1). Este índice é definido por Brans e Vincke (1985) e expresso pela Equação (1), onde  $w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$ , representa a importância relativa de cada critério (que, por vezes, é referenciado por “peso” dos critérios) e  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n P_i(a, b) \cdot w_i \quad (1)$$

No segundo módulo do método, são definidos os fluxos de sobreclassificação que indicam as relações positiva e negativa a partir do resultado da comparação par a par entre as alternativas. O fluxo positivo é expresso pela Equação (2), e indica a relação em que o desempenho de `a` supera o desempenho de `b`. Enquanto o fluxo negativo é expresso pela Equação (3), e indica a superação de `b` em relação à alternativa `a`. Nestas expressões,  $(m - 1)$  é o número de alternativas comparadas com uma alternativa de referência  $a$ . Os fluxos são calculados para cada uma das alternativas definidas pela estrutura de decisão (BRANS e MARESCHAL, 2002).

$$\phi^+(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (2)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (3)$$

A utilização dos fluxos positivos e negativos apresentados pelas Equações (2) e (3) oferece resultados normalizados para o valor da análise, mantendo os valores dentro do intervalo (0,1), independentemente do número de alternativas consideradas pela estrutura de decisão (ALMEIDA *et al.*, 2015). O PROMETHEE II oferece uma pré-ordem completa, através do cálculo do fluxo total líquido do desempenho de cada alternativa, obtido pela diferença entre os fluxos positivo e negativo de cada alternativa (BRANS & MARESCHAL, 2002).

Assim Almeida *et al.* (2015), consideram que o PROMETHEE II é um método baseado na racionalidade não compensatória para avaliar as alternativas, e utiliza parâmetros como os pesos dos critérios para representar as preferências do decisor. De acordo com os autores, este método não oferece uma regra específica para a determinação dos pesos dos critérios, mas assume que o decisor é capaz de determinar valores apropriados para representar a importância destes, pelo menos em situações em que o número de critérios não seja tão grande, ou em situações em que não há fatores que dificultem o processo de definição destes valores.

Ainda de acordo com os autores, quando a complexidade do problema é maior e o número de critérios é extenso, o decisor pode apresentar insegurança, desconforto, pouco

conhecimento ou optar por não definir valores exatos e, por isso, recorrer a métodos analíticos que auxiliam o processo de exclusão ou substituição destes valores é uma alternativa para contornar estas dificuldades.

A flexibilidade oferecida pelo PROMETHEE II quanto à definição dos pesos dos critérios permite a utilização de várias técnicas para representar as preferências do decisor. Assim, considerando-se as situações de incerteza em que o decisor dispõe apenas de informação ordinal sobre os critérios, a utilização de metodologias de pesos substitutos é coerente e suas integrações com o método PROMETHEE II são consistentes (ALMEIDA *et al.*, 2015).

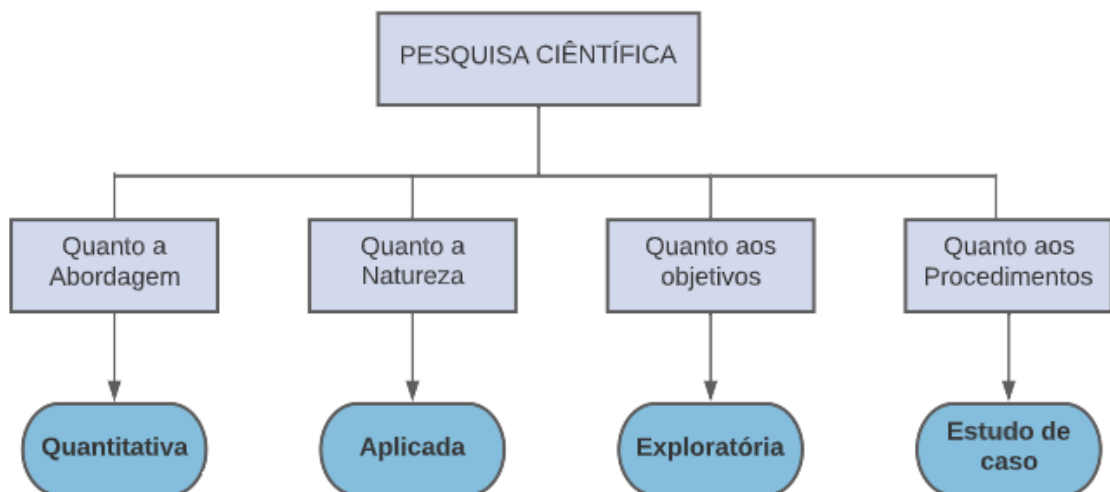
### 3 METODOLOGIA

Este capítulo expõe as etapas metodológicas empregadas para o desenvolvimento do estudo. Inicialmente é apresentada a caracterização da pesquisa e, em seguida, são expostas as etapas a serem realizadas no decorrer do estudo.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Lakatos e Marconi (2003) a metodologia consiste em um conjunto de atividades sistemáticas e lógicas que permite alcançar o objetivo da pesquisa, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista. As pesquisas científicas podem ser classificadas com base em quatro critérios: quanto a sua abordagem; quanto a sua natureza; quanto aos seus objetivos; e quanto aos seus procedimentos. O Fluxograma 2 expõe a estrutura de uma pesquisa científica, com ênfase nas classificações deste estudo.

**Fluxograma 3 - Caracterização da Pesquisa Científica.**



**Fonte:** Autoria Própria (2022).

Quanto a sua abordagem a pesquisa pode ser classificada como qualitativa ou quantitativa. Para Fonseca *et al.*, (2003) a pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever causas de um fenômeno, considerando que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para assim

classificá-las e analisá-las. Zanella (2011) afirma que a pesquisa quantitativa se caracteriza pelo emprego de instrumentos estatísticos tanto na coleta como no tratamento dos dados. Assim, essa pesquisa é de caráter quantitativo, pois utilizará de dados numéricos na aplicação do modelo matemático que irá determinar a melhor estratégia para o plantio sustentável em uma propriedade rural.

Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, pois irá analisar todos os fatores e critérios exigidos pelo produtor e propor a melhor estratégia para o plantio sustentável. Segundo Fontelles *et al.* (2009), a pesquisa aplicada tem como objetivo produzir conhecimentos científicos para aplicação prática, voltada para a solução de problemas concretos. Ainda segundo os autores, esse tipo de pesquisa além de produzir conhecimentos, gera novos processos tecnológicos e novos produtos como resultados práticos imediatos em termos econômicos e melhoria da qualidade de vida.

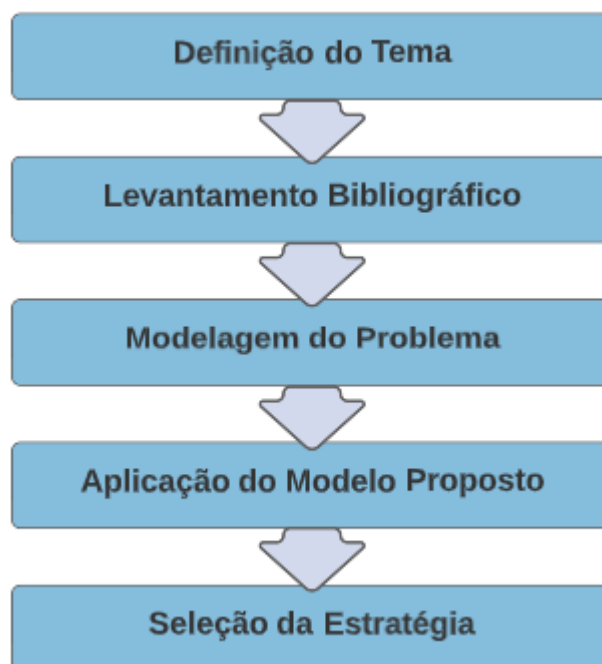
Segundo Gil (2007) a pesquisa exploratória tem a finalidade de ampliar o conhecimento a respeito de um determinado fenômeno. Segundo o autor esse tipo de pesquisa explora a realidade buscando maior conhecimento para depois planejar uma pesquisa descritiva. Baseado nos objetivos demonstrados, a pesquisa é classificada como exploratória, pois baseia-se em um estudo introdutório sobre os critérios para a agricultura sustentável e na implementação de um modelo para apoio à tomada de decisão.

Por fim, quanto aos procedimentos, classifica-se como estudo de caso, que é definido por Ventura (2007) como uma metodologia ou como a escolha de um objeto de estudo definido pelo interesse em casos individuais. Para o autor, este tipo de procedimento visa a investigação de um caso específico e bem delimitado, contextualizado em tempo e lugar para que se possa realizar uma busca circunstanciada de informações. Dessa forma o presente trabalho pretende, além do aprofundamento acerca do objetivo da pesquisa, evidenciar o contexto em que a pesquisa foi realizada, com o intuito de melhor aplicar o modelo na propriedade em estudo.

### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

A presente pesquisa contou com quatro etapas. Sequencia das etapas de desenvolvimento da pesquisa.



**Fluxograma 4** - Etapas de Desenvolvimento da Pesquisa.

**Fonte:** Autoria própria (2022).

A primeira etapa deu-se pela escolha do tema: seleção de estratégia para plantio sustentável. É importante destacar que o trabalho foi desenvolvido na região do semiárido, clima que apresenta altas temperaturas, chuvas escassas e mal distribuídas, com longos períodos de estiagem, sendo o clima mais quente do Brasil. Dessa forma, torna-se imprescindível um planejamento adequado de plantio que assegure a melhor utilização e conservação dos recursos disponíveis nessa região.

A segunda etapa consiste em um embasamento teórico acerca do tema escolhido, com o objetivo de adquirir melhor entendimento sobre a pesquisa a ser elaborada. Dessa forma, foi realizado um levantamento bibliográfico através de materiais já preparados, como livros, artigos de congressos e periódicos nacionais e internacionais, a respeito dos temas sustentabilidade, agricultura sustentável e familiar, estratégias e critérios para agricultura sustentável, decisão multicritério e método PROMETHEE II, a fim de adquirir conhecimento sobre estes.

Após o aprofundamento bibliográfico, a terceira etapa consistiu na seleção da metodologia a ser utilizada para o problema em questão, que se adequasse as variáveis e resultado que se esperava obter. Dessa forma, foi proposto um modelo, baseado no método

PROMETHEE II, da família PROMETHEE, para a escolha da estratégia de plantio mais adequada.

Na quarta etapa o modelo proposto foi aplicado na fazenda na qual realizou-se o estudo de caso. Inicialmente foram realizadas entrevistas com o proprietário, buscando identificar critérios importantes para a seleção da estratégia de plantio sustentável mais adequada. Para isso, foi utilizado o Software Phomethee Gaia® para analisar os dados referentes aos critérios considerados, e assim gerar o ranking das alternativas. Por fim, a partir dos resultados obtidos pelo software, foi possível determinar qual(is) estratégia (s) de plantio melhor se adequam ao ambiente estudado.

#### **4 MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA DETERMINAÇÃO DE ESTRATÉGIA DE PLANTIO SUSTENTÁVEL**

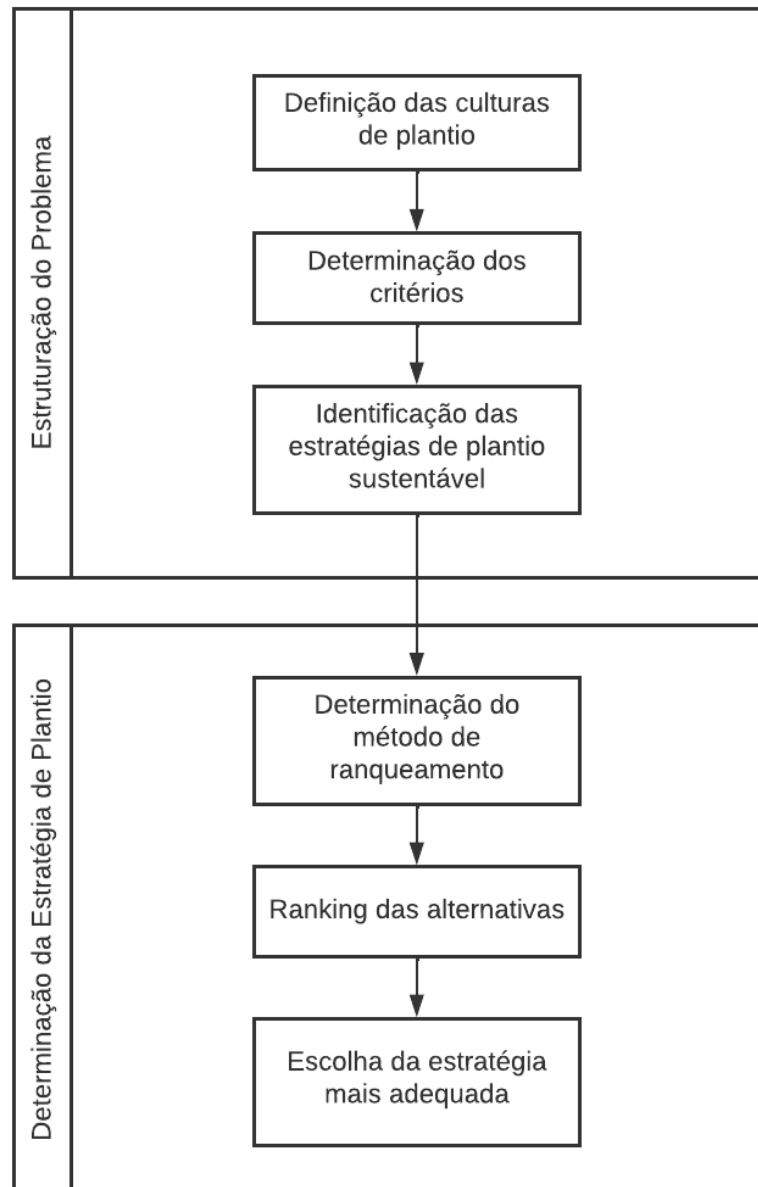
Acabar com a fome, alcançar segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, são partes das metas de Desenvolvimento do Milênio da Organização das Nações Unidas (ONU) para serem atendidas até 2030. Diante desse contexto, há a necessidade de ações efetivas para o aumento da segurança alimentar, sem comprometer os recursos energéticos para as gerações futuras.

Segundo Kitamura (2003) a agricultura, no Brasil vem avançando lentamente na busca de tecnologias e processos que minimizem problemas de poluição e degradação dos recursos naturais e que, ao mesmo tempo, ofereçam produtos seguros para a saúde do consumidor final. Ainda de acordo com o autor algumas práticas podem ser consideradas para alcançar este objetivo, são elas: melhoramento genético, manejo integrado de pragas (MIP), sistema de plantio direto, fixação de nitrogênio, e diversidade de culturas.

Diante disso, é relevante a utilização de modelos que auxiliem a tomada de decisão no planejamento e determinação de estratégias e práticas de plantio sustentável que considerem as características ambientais, sociais e econômicas de cada região, visto que tais práticas possuem suas individualidades e não podem ser analisadas de forma geral para todos os tipos de cultura. Nesta perspectiva, o modelo apresentado tem como finalidade classificar por ranking e apontar estratégias de plantio sustentável que serão adotadas pelo produtor. O modelo auxiliará o decisor a definir quais critérios são mais importantes de acordo com a sua necessidade.

##### **4.1. DESCRIÇÃO DO MODELO**

O modelo proposto é dividido em duas etapas: estruturação do problema e determinação da estratégia de plantio.

**Fluxograma 5 - Modelo proposto.**

**Fonte:** Autoria própria (2022).

A primeira etapa consiste na estruturação do problema, na qual serão definidas as culturas de plantio, a determinação dos critérios, e identificação das estratégias, considerando a disponibilidade de recursos e peculiaridades da região. A segunda etapa compreende a determinação da estratégia de plantio, onde inicialmente será definido o método de ranqueamento a ser utilizado, assim como o ranking das alternativas, e por fim, a proposição da estratégia de plantio mais adequada de acordo com os critérios selecionados.

#### 4.1.1 Estruturação do problema

A princípio deve-se identificar o decisor, que pode ser o proprietário, trabalhador ou pessoa responsável pela atividade de produção, que possua experiência e/ou vivência na área de plantio, para assim garantir que o resultado do modelo seja satisfatório. De acordo com Almeida (2013), a importância de determinar um decisor adequado está no fato de que, para conseguir desenvolver um modelo útil, que retrate da melhor forma a realidade da situação, deve-se levar em consideração a modelagem de preferências do decisor ou conseguir extrair suas preferências acerca do grupo de consequências.

Em seguida, junto ao decisor, através de reuniões de *brainstorming*, serão definidas as culturas que serão utilizadas para plantio. Segundo Tarapanoff (1995) uma sessão de *brainstorming* busca levantar o maior número de ideias possíveis em torno de um problema, na tentativa de se reorientar o caminho para sua resolução.

De maneira simultânea, são definidos os critérios do modelo, que precisam ser considerados de forma correta, a fim de possibilitar ao decisor encontrar soluções satisfatórias para o problema. Os critérios podem ser escolhidos a partir da revisão literatura, de acordo com as preferências e necessidades do decisor, considerando aqueles que melhor representa o problema abordado no estudo. Vale salientar que para o modelo apresentar uma solução sustentável, é necessário que haja pelo menos um critério relacionado para cada pilar da sustentabilidade.

Assim, para determinar os critérios que servirão de base para a escolha das estratégias, o decisor poderá utilizar aqueles presentes na literatura e/ou acrescentar mais algum que julgar necessário. Para que a estratégia seja caracterizada como sustentável, é necessário que os critérios estejam de acordo com os pilares da sustentabilidade. Os critérios escolhidos devem atender as necessidades do decisor. De acordo com Roselini (2019), no caso de um único decisor, pode-se utilizar o auxílio do analista, assim como a literatura da área para apoiar a escolha dos fatores.

Após a definição dos critérios, faz-se necessário identificar as estratégias de plantio. O uso de estratégias apropriadas é essencial para o sucesso da agricultura sustentável. É importante, nesta fase, considerar as restrições de estratégias para cada tipo de cultura, como também as características do ambiente estudado. Nesse contexto, existem várias práticas agrícolas sustentáveis, tais como: a rotação de culturas (Franchini *et al.*, 2011), o plantio direto (Salton *et al.*, 1998), a adubação verde (Espíndola *et al.*, 1997), a integração lavoura-

pecuária-floresta (Alvarenga *et al.*, 2010). As estratégias identificadas serão as alternativas do modelo de decisão.

#### **4.1.2 Determinação da estratégia de plantio**

Na segunda etapa é definido o método de ranqueamento. O método deve considerar vários critérios para a análise, pois existem múltiplos fatores que influenciam na estratégia de plantio. Neste sentido, o método que se adequa ao problema analisado neste estudo é o modelo de apoio a decisão multicritério. Segundo Meirelles e Gomes (2009) o objetivo principal de uma ferramenta de apoio à decisão é aprimorar a racionalidade do decisor, aumentando sua perspectiva de que uma escolha conduza a um resultado satisfatório, onde essa escolha racional pode ser definida como sendo aquela que se baseia em tudo que o decisor sabe, julga e sente, satisfazendo suas preferências de forma eficaz e lógica.

Como os critérios definidos na etapa anterior podem ser objetivos ou subjetivos, o método escolhido deve lidar adequadamente com variáveis quantitativas e qualitativas, como também com a incerteza inerente ao processo decisório (ARAÚJO, 2012). Assim, sugere-se a utilização do método PROMETHEE II, que é um método pertencente à família de métodos de sobreclassificação PROMETHEE.

Segundo Almeida (2012) os métodos da família PROMETHEE são caracterizados como métodos de sobreclassificação, que utilizam da metodologia de comparação par a par entre todas as alternativas para obter uma relação de prevalência, que leva à determinação da solução mais adequada para o problema estudado. O método foi escolhido, por apresentar as seguintes características:

- É um método multicritério, ou seja, considera vários critérios para solução do problema;
- Utiliza o método de ranking, de forma que as alternativas representarão os melhores resultados das avaliações referentes aos critérios pré-estabelecidos pelo decisor;
- É um método simples, pois seus conceitos e parâmetros são de fácil assimilação pelo decisor, além de possui software simples de apoio;
- É um método não compensatório, ou seja, o alto desempenho em um critério não pode compensar baixo desempenho em outro, de forma que há uma avaliação equilibrada entre todos os fatores considerados;
- Determina uma pré-ordem completa, isso quer dizer que duas estratégias não podem ocupar o mesmo lugar de classificação no ranking.

Posteriormente, ocorre a etapa de alocar as alternativas em ranking, de acordo com os critérios pré-selecionados. E por fim, os resultados serão avaliados, viabilizando propor a melhor estratégia de plantio sustentável, sendo essa a primeira do ranking. Se necessário, é possível escolher mais de uma solução, entretanto, deve-se considerar sempre as melhores do ranking.

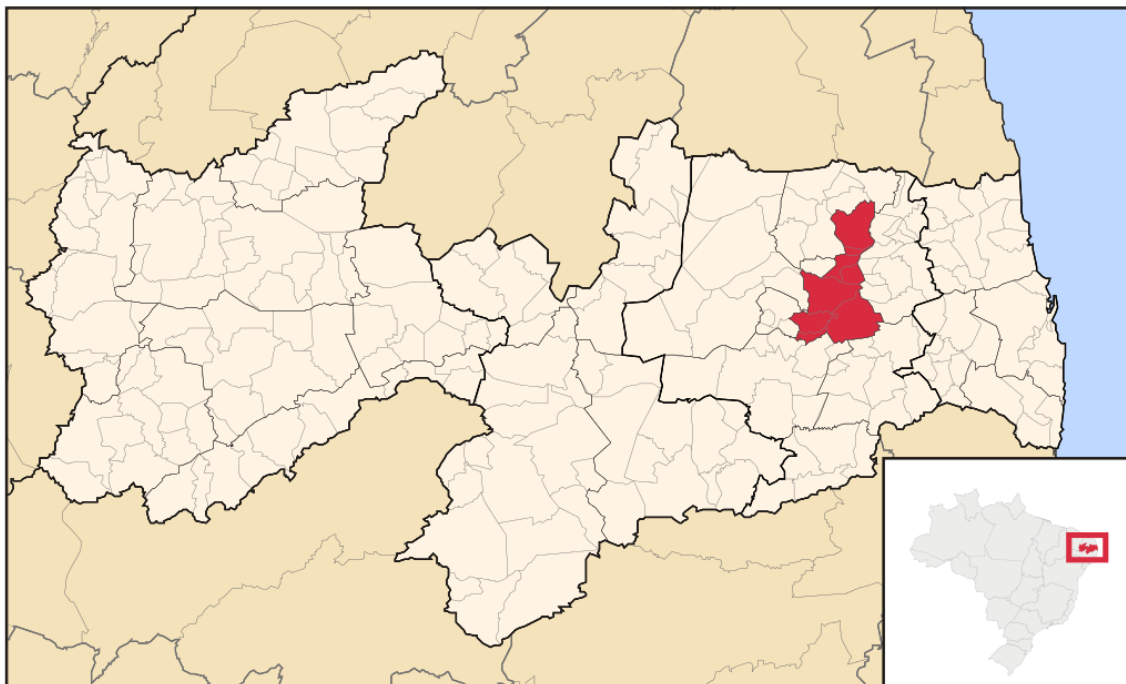
## 4.2 APLICAÇÃO DO MODELO

Ao longo deste capítulo será apresentado a aplicação do modelo de apoio a decisão para determinação da estratégia de plantio sustentável, tendo como principais objetivos a caracterização da empresa e a aplicação de todas as etapas do modelo proposto.

### 4.2.1 caracterização da propriedade

O modelo descrito neste estudo foi aplicado em uma pequena propriedade rural, na cidade de Alagoa Nova, município pertencente a microrregião do Brejo Paraibano. Segundo Moreira (1989) e Lima (2008) essa região apresenta relevo elevado (em torno de 600m) que exerce forte influência sobre o clima, originando chuvas orográficas que são mais abundantes nos meses de junho e julho. As médias térmicas anuais na região são em torno de 25°C, com os meses de inverno chegando a atingir 16°C, a umidade relativa do ar entre 80% e 85% em média, e uma estação seca curta de 1 a 3 meses, que configuram um microclima particular à região. Mapa da microrregião, onde está localizada a propriedade.

**Mapa 1** - da Microrregião do Brejo Paraibano.



**Fonte:** Wikiwand (2022).

A propriedade possui 26 hectares de terra. Desses, 20% são de área de proteção legal, e 17 hectares são destinados a plantação. Conta com seis trabalhadores que realizam a atividade de plantação e manejo de animais. Caracteriza-se como agricultura familiar, onde uma parte dos produtos cultivados são destinados para alimentação animal, outra parte para comercialização, além da subsistência.

#### **4.2.2 Estruturação do problema**

Inicialmente foi definido o decisor, que foi proprietário da fazenda. Em seguida, foram realizadas entrevistas e sessões de *brainstorming* para definir as culturas para o plantio. Para determinação das culturas, foram considerados os seguintes fatores: a) clima da região; b) disponibilidade de recursos; e c) utilização da lavoura para alimentação do gado. Neste sentido, foram escolhidos: capim-elefante, cana-de-açúcar e milho.

Em seguida, foram selecionados os critérios a serem utilizados com base na revisão de literatura, considerando as prioridades do decisor. Os critérios escolhidos foram: Rendimento; Relação custo-benefício com a atividade animal; Uso de fertilizantes orgânicos; Diversidade de Culturas; Conservação das propriedades físicas do solo e Participação social. A seguir serão apresentadas as definições para cada critério e a forma de mensuração destes.



- Rendimento: o rendimento da cultura é dado pela quantidade de quilogramas de matéria seca por hectare de terra.

- Relação custo-benefício com a atividade animal: É uma análise da comparação dos benefícios e custos esperados, considerando também as alternativas que se perdem e a manutenção do status quo. Este critério será analisado de forma subjetiva, de acordo com os níveis de preferência apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3** - Níveis de preferência do critério custo-benefício.

<b>Nível de Preferência</b>	<b>Conceito</b>
1	Não atende as expectativas de custo-benefício.
2	Atende uma pequena parte das expectativas de custo-benefício.
3	Atende medianamente as expectativas de custo-benefício.
4	Resolve o problema e atinge as expectativas de custo-benefício.
5	Supera as expectativas.

**Fonte:** Autoria própria (2022).

- Uso de fertilizantes orgânicos: Diz respeito a adubação, obtidos a partir de matérias-primas animal ou vegetal, podendo ou não ser enriquecidos com nutrientes de origem mineral. Este critério será analisado de acordo com referências presentes na literatura, levando em consideração a exigência da cultura, condição do solo e composição do composto. As referências estão apresentadas no Quadro 4.

**Quadro 4** - Níveis de referência para o critério uso de fertilizantes orgânicos.

<b>Níveis de Referência</b>	<b>Condições</b>
1	Não utiliza fertilizantes orgânicos
2	Utiliza entre 1% a 30% de fertilizantes orgânicos
3	Utiliza entre 31% a 50% de fertilizantes orgânicos
4	Utiliza entre 51% a 80% de fertilizantes orgânicos
5	Utiliza entre 81 a 100% de fertilizantes orgânicos

**Fonte:** Autoria própria (2022).

- Diversidade de culturas: pode ser definido como conjunto de diferentes culturas. Esse critério será analisado de forma subjetiva de acordo com os níveis de referência descritos no Quadro 5.

**Quadro 5** - Níveis de referência para o critério diversidade de culturas.

<b>Níveis de Referência</b>	<b>Conceito</b>
Baixa	1 a 2 tipos de culturas
Média	3 a 5 tipos de culturas
Alta	Acima de 5 tipos de culturas

**Fonte:** Autoria própria (2022).

- Conservação das propriedades físicas do solo: Significa manter as características físicas do solo, como por exemplo, textura, estrutura, densidade, porosidade, permeabilidade, fluxo de água, ar e calor) para que os processos químicos e biológicos possam ocorrer. Este critério será analisado de forma subjetiva de acordo com os níveis de referência descritos no Quadro 6.

**Quadro 6** - Níveis de preferência para o critério conservação das propriedades físicas do solo.

<b>Níveis de Preferência</b>	<b>Conceito</b>
Baixo	Degrada o solo.
Médio	Respeita algumas características, mas ainda assim possui um nível de degradação.
Alto	Não degrada o solo. Respeita todas as características.

**Fonte:** Autoria própria (2022).

- Participação Social: pode ser definido como o efeito de indivíduos participarem, compartilharem e se envolverem nas decisões políticas de um país, região ou organização. Este critério será analisado de forma subjetiva, de acordo com os níveis de preferência apresentados no Quadro 7.

**Quadro 7** - Níveis de preferência para o critério participação social.

<b>Níveis de Preferência</b>	<b>Conceito</b>
Baixa	Não tem participação direta nas decisões de grupo/associações.
Média	Tem participação pouco influente nas decisões de grupo/associações.
Alta	Tem alta participação e alta influência nas decisões de grupo/associações.

**Fonte:** Autoria própria (2022).

Para facilitar a visualização, todos os critérios foram codificados. O Quadro 8 mostra a codificação e a preferência de maximização ou minimização de cada critério.

**Quadro 8 - Critérios de Avaliação.**

<b>CÓDIGO</b>	<b>PILAR</b>	<b>CRITÉRIO</b>	<b>MÁX/MIN?</b>
<i>Cr<sub>1</sub></i>	Econômico	Rendimento	Maximizar
<i>Cr<sub>2</sub></i>		Relação custo-benefício com a atividade animal	Maximizar
<i>Cr<sub>3</sub></i>	Ambiental	Uso de fertilizantes orgânicos	Maximizar
<i>Cr<sub>4</sub></i>		Diversidade de culturas	Maximizar
<i>Cr<sub>5</sub></i>		Conservação das propriedades físicas do solo.	Maximizar
<i>Cr<sub>6</sub></i>	Social	Participação social	Maximizar

**Fonte:** Autoria Própria (2022).

Posteriormente, foram determinadas as alternativas que estão relacionadas as estratégias citadas no referencial, sendo elas: plantio direto, rotação de cultura, adubação verde, compostagem e integração lavoura-pecuária-floresta. O descarte correto de embalagens não foi considerado como uma alternativa, tendo em vista que já é uma prática que precisa ser utilizada independente da estratégia de plantio. O Quadro 9 mostra a codificação das alternativas.

**Quadro 9 - Alternativas de Avaliação.**

<b>CÓDIGO</b>	<b>ALTERNATIVA</b>
<b>A01</b>	Plantio direto
<b>A02</b>	Rotação de culturas
<b>A03</b>	Compostagem
<b>A04</b>	Adubação verde
<b>A05</b>	Integração lavoura-pecuária-floresta

**Fonte:** Autoria Própria (2022).

Após serem definidas as alternativas, foram determinadas as melhores estratégias de plantio sustentável, apresentadas no próximo tópico desta sessão.

### 4.2.3 Determinação da estratégia

Nesta etapa serão determinadas as melhores estratégias, a partir do ranqueamento definido pelo PROMETHEE II. Inicialmente são definidos os pesos dos critérios. A determinação dos pesos foi realizada pela análise do decisor, baseada em sua experiência profissional e de acordo com a importância dos pilares da sustentabilidade. O proprietário considerou como prioridade o pilar sustentável, sendo assim, utilizou-se três critérios deste pilar, cada um com peso 0,15, em segunda ordem de preferência tem-se o pilar econômico, considerando-se dois critérios com **peso 0,15**, e, por fim, o pilar social, para este considerou-se um critério com **peso 0,25**. O resultado está exposto na tabela 1.

**Tabela 1** - Pesos dos critérios.

<b>Critério</b>	$Cr_1$	$Cr_2$	$Cr_3$	$Cr_4$	$Cr_5$	$Cr_6$
<b>Peso</b>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25

**Fonte:** Autoria própria (2022).

Após a definição das alternativas que continuaram no processo seletivo, dos critérios a ser utilizados e dos pesos destes, conforme mostrado anteriormente, foi construída a matriz de avaliação (alternativas x critérios), na qual são geradas as entradas para o modelo de decisão. Para facilitar a visualização das matrizes de avaliação dos decisores, a codificação das alternativas utilizada no Quadro 9 será utilizada nesta fase.

Após o Decisor avaliar todos os critérios expostos, foi construída uma Matriz de Decisão conforme é mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2** -Matriz de Avaliação das Alternativas em relação aos critérios.

<b>Alternativa</b>	<b>Critério</b>					
	$Cr_1$ (kg/ha)	$Cr_2$	$Cr_3$	$Cr_4$	$Cr_5$	$Cr_6$
A01	9680	2	3	1	2	1
A02	9680	3	2	3	2	2
A03	6500	2	1	1	3	1
A04	44610	2	4	3	3	1
A05	6260	4	3	2	1	2

**Fonte:** Autoria própria (2022).

A relação do critério “rendimento” com as alternativas foi embasada em estudos disponíveis na literatura, considerando a cultura do milho, que ocupa o maior espaço de plantio na propriedade analisada. De acordo com o estudo de produtividade do milho em sucessão a adubos verdes de Carvalho *et al.* (2004), constatou-se que o rendimento desta cultura apresentou um resultado de 44.610kg/há. Em relação as alternativas A01 e A02, em estudo realizado por Cruz *et al.* (2006), observou-se que o milho teve um rendimento de 9600kg/há. Em se tratando da alternativa A03, uma pesquisa desenvolvida por Galvão *et al.* (2022), mostrou um resultado de 6500 kg/há. E por fim, para a alternativa A05, de acordo com o estudo de Neto *et al.* (2013), constatou-se um rendimento de 6260 para esta cultura.

De posse de todos os dados necessários, o Software Promethee-Gaia® foi utilizado para a análise das alternativas. Na interface do software foi determinado o número de alternativas (5), o número de critérios (6), as preferências para cada critério (max/min), os pesos e o critério generalizado, que nesse caso foi o critério usual, pois pequenos incrementos nas avaliações resultam na sobreposição das alternativas, além dos dados referentes a análise de cada alternativa com relação aos critérios. A partir daí o software gerou o ranking das melhores para as piores alternativas através do fluxo líquido, conforme é demonstrado na Tabela 3.

**Tabela 3** - Fluxos líquidos das alternativas.

<b>Alternativas</b>	A02	A04	A05	A03	A01
<b>Fluxos líquidos</b>	0,300	0,2875	-0,0375	-0,1625	-0,3875

**Fonte:** Autoria própria (2022).

A Figura 3 mostra a representação gráfica do ranking das alternativas gerada pelo Software PrometheeGaia® com base nos resultados dos fluxos líquidos.

**Figura 3** - Ranking das alternativas através do fluxo líquido.



**Fonte:** Autoria própria (2022).

Desse modo, através dos fluxos líquidos das alternativas que foram oferecidos pelo Software, foi possível observar que a alternativa Rotação de Culturas é a mais adequada, considerando os critérios que foram determinados pelo decisor.

Evidencia-se que o fluxo negativo significa que a alternativa é sobre classificada por outras na maioria dos critérios, mas isso não indica que ela possui uma avaliação ruim em todos os critérios, como pode ser observado na Matriz de Avaliação das Alternativas em relação aos critérios (Tabela 2).

Como exemplo, tem-se a alternativa Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, que possui baixo desempenho no critério Cr5 (conservação das propriedades físicas do solo), mas que se sobressai em relação aos demais quando se trata do critério Cr2 (custo-benefício com a atividade animal). Entretanto, a composição dos critérios faz com que ele não seja uma boa alternativa. Já o Adubação Verde, possui a avaliação boa na maioria dos critérios, porém, não

foi a alternativa selecionada, por apresentar fluxo líquido abaixo da estratégia Rotação de Culturas.

Com isso, observa-se que, caso fosse analisado somente um critério, seria selecionada uma técnica que não atende as necessidades em todos os quesitos, tornando-se importante a tomada de decisão com base em uma abordagem multicritério. Além disso, o uso de um método não-compensatório faz com que desempenho muito alto em um critério não compense o desempenho baixo em outros, resultando em uma decisão equilibrada.

### 4.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Após a seleção e análise do ranking que foi exposto, uma análise de sensibilidade para verificar a robustez do modelo proposto frente a pequenas variações nos pesos dos critérios. Para isso alterou-se o peso do critério “Participação Social” em  $\pm 0,05$  e analisou-se os dois cenários: no cenário 1 foi acrescentado 0,05 ao peso desse critério e no cenário 2 foi diminuído 0,05 no valor do peso atual deste. Vale ressaltar que os demais critérios (rendimento; relação custo-benefício com a atividade animal; uso de fertilizantes orgânicos; diversidades de culturas; e conservação das propriedades físicas do solo) também sofreram alteração, diminuindo 0,01 (primeiro cenário) e aumentando 0,01 (segundo cenário). Os fluxos para os novos cenários foram expostos nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4 - Análise de sensibilidade (cenário 1).**

<b>Alternativas</b>	A02	A04	A05	A03	A01
<b>Fluxos Líquidos</b>	0,3300	0,2350	0,0150	-0,1850	-0,3950

**Fonte:** Autoria própria (2022).

**Tabela 5 - Análise de sensibilidade (cenário 2).**

<b>Alternativas</b>	A04	A02	A05	A03	A01
<b>Fluxos Líquidos</b>	0,3400	0,2700	-0,0900	-0,1400	-0,3800

**Fonte:** Autoria própria (2022).

A análise sensibilidade mostrou que não houve grandes alterações, de forma que pequenas variações nos pesos dos critérios não possuem grande impacto nos resultados. No caso do cenário 1, em que aumentou 0,05 no peso do critério “Participação Social”, houve uma pequena alteração entre as alternativas A02 e A04, que ficaram mais distantes e a



alternativa A05 que aumentou seu fluxo líquido, mas não houve modificações no ranking. No caso do cenário 2, em que diminuiu 0,05 do peso do critério, a alternativa que seria selecionada seria a A04 e não a A02, além disso a alternativa A05 apresentou desempenho negativo no ranking.

É importante ressaltar que o modelo não irá fornecer uma solução ótima para um determinado critério, mas sim uma solução adequada para um conjunto de vários critérios. Dessa forma, o modelo proporciona a estruturação da Decisão com base em todos os critérios importantes para a realidade da fazenda. Ademais, consegue-se obter uma avaliação de qual a importância de cada um desses fatores, através do peso que é dado a cada um deles. Além disso, o modelo matemático proposto possui uma metodologia estruturada tanto para os pesos, quanto para o ranqueamento, e utiliza um Software bastante simples e prático, que facilita a tomada de decisão.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento sustentável é um tema que vem sendo bastante discutido nos últimos anos, se tornando uma preocupação mundial. Dentro desse contexto, a agricultura apresenta-se como um grande fator a ser considerado, tendo em vista que o crescimento da população e a alta demanda por produtos alimentícios tem exigido que os processos produtivos apresentem altos rendimentos. Assim, os sistemas agrícolas têm feito uso de métodos agressivos e que comprometem a disponibilidade dos recursos naturais a longo prazo. Dessa forma, é emergente o estudo e adoção de práticas sustentáveis que utilizem os recursos de maneira a não comprometer as futuras gerações de atenderem as suas próprias necessidades.

Entretanto, determinar a estratégia de plantio sustentável a ser adotada não é tarefa simples, uma vez que vários fatores devem ser considerados, como por exemplo: clima da região, disponibilidade de recursos e condições do ambiente, como também para que seja considerada uma alternativa sustentável a decisão deve estar embasada nos pilares da sustentabilidade. Diante disso, a Abordagem de Apoio Multicritério a Decisão foi selecionada para conduzir o estudo por melhor se adequar aos objetivos da pesquisa, uma vez que o problema de seleção de planejamento de agricultura sustentável envolve vários critérios.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo identificar quais são os critérios relevantes para o planejamento de plantio sustentável, e em seguida propor um modelo multicritério de apoio a decisão, para seleção da melhor alternativa de plantio a ser aplicada em uma fazenda localizada na microrregião do brejo paraibano. O método utilizado foi o PROMETHEE II, que foca em uma abordagem de sobreclassificação e é considerado por ser não compensatório, o que gera resultados equilibrados do desempenho das alternativas, além de ser um método ajustável as necessidades do decisor, de fácil compreensão e que considera tanto critérios quantitativos como qualitativos, possibilitando ao decisor a liberdade de considerar vários fatores.

Desse modo, o modelo mostra-se como uma possibilidade otimista e flexível, capaz de originar resultados reais, de forma que haja uma priorização dos critérios que demandam maior atenção, os quais o decisor poderá modificar de acordo com o local onde esteja sendo aplicado. Assim, as práticas agrícolas tornam-se sustentáveis, garantindo a preservação dos recursos naturais, e uma maior qualidade de vida da população, tendo em vista uma maior segurança alimentar com a diminuição do uso de agrotóxicos.

Como limitações do trabalho, observou-se a dificuldade de encontrar dados relacionados à critérios que podem ser considerados como importantes pelo decisor, tais como eficiência da estratégia.

Como proposta para trabalhos futuros, as recomendações que emergem são:

- Determinar métodos estruturados para a determinação dos pesos dos critérios;
- Utilizar um método de apoio à decisão para escolha de culturas mais adequadas para a propriedade;
- Criação de um programa específico para a problemática proposta, com informações relevantes sobre a agricultura sustentável.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeito da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Campinas, v. 25, n. 3, p.717-723, 2001.

ALLEN, P; VAN. D; LUNDY, J; GLIESSE, S. - Integrating social, environ-mental, and economic issues in sustainable Agriculture. **American Journal of Alternative agriculture** 6, 1: 34-39, 1991.

ALMEIDA, A.T de. **Processo de Decisão nas Organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo, Atlas, 2013.

ALMEIDA, R. E.M. Palisadegrass effects on N fertilizer dynamic in intercropping systems with corn. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro - Rj, p. 1917-1923. set. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/XYcMLXmSynCgXZCL7LvcYCJ/?lang=en#>. Acesso em: 14 ago. 2022.

ALMUSSA, A.; SCHMIDT, M. L. G. O contato com agrotóxicos e os possíveis agravos à saúde de trabalhadores rurais. **Revista de Psicologia da UNESP**, v. 8, n. 2, p. 184-188, 2009.

ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 2ª ed. Porto Alegre: ed. Universidade, 2000.

ANSELMO, J. L.; COSTA, D. S.; SÁ, M. E. Plantas de cobertura para Região de Cerrado Plantas de cobertura, n. 25, p.149-154, 2013-2014.

ARAÚJO FILHO, G. D; PIRES, V. O. PRÁTICAS EDUCACIONAIS DE CONTROLE DAS QUEIMADAS PARA PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE NO MUNICÍPIO DE BARRA DO GARÇAS – MT. **Revista Interfaces do Conhecimento**, Barra do Garças - Mt, v. 2, p. 146-162, dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.unicathedral.edu.br/index.php?journal=revistainterfaces&page=article&op=view&path%5B%5D=538&path%5B%5D=384>. Acesso em: 18 ago. 2022.

ARAÚJO, M. C. B. **Modelo integrado para seleção e avaliação de desempenho de fornecedores**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2012.

ASSAD, M. L. L; ALMEIDA, J. AGRICULTURA E SUSTENTABILIDADE CONTEXTO, DESAFIOS E CENÁRIOS. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria - Rio Grande do Sul, v. 29, n. 1, p. 15-30, set. 2015. Disponível em: [https://www.ufrgs.br/temas/wpcontent/uploads/2021/04/2004\\_agricultura\\_sustentabilidade.pdf](https://www.ufrgs.br/temas/wpcontent/uploads/2021/04/2004_agricultura_sustentabilidade.pdf) f. Acesso em: 24 ago. 2022.

BARBOSA, V. R. S. **Seleção de fornecedores em uma indústria de confecções: uma abordagem multicritério**. 2019. 74 f. Monografia - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2019.

BERNARDI, A. C. A.; HERMES, R.; BOF, V. A. MANEJO E DESTINO DAS EMBALAGENS DE AGROTÓXICOS. **Perspectiva**, Erechim, v. 41, n. 159, p. 15-28, set. 2018. Disponível em: [https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/159\\_719.pdf](https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/159_719.pdf). Acesso em: 18 ago. 2022.

BIRD, G.W.; EDENS, T.; DRUMMOND, F.; GRODEN, E.; Design of pest management systems for sustainable agriculture. In: Francis, C.A.; Flora, C.B.; King, L.D. (Eds.) **Sustainable agriculture in temperate zones**. New York: John Wiley & Sons, p.55-110, 1990.

BOUYSSOU, D. Some remarks on the notion of compensation in MCDM. **European Journal of Operational Research**, v.26, n.1, p.150-160. 1986.

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

BRANS, J.P. E VINCKE, P. A preference ranking organization method, *Management Science*, vol.31, pp.647–656, 1985.

CAVALCANTE, C.A.V., FERREIRA, R.J.P. E ALMEIDA, A.T. A preventive maintenance decision model based on multicriteria method PROMETHEE II integrated with Bayesian approach. *IMA Journal of Management Mathematics*, 20, 1-16, 2010.

COSTA, A. A. V. M. R. AGRICULTURA SUSTENTÁVEL I: CONCEITOS. **Revista de Ciências Agrárias: SOCIEDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE PORTUGAL**, Portugal, p. 61-74, jun. 2010. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/15872/13812>. Acesso em: 14 ago. 2022.

COSTA, E; FERREZIN, N. B . ESG (ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND CORPORATE GOVERNANCE) E A COMUNICAÇÃO: O TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE APLICADO ÀS ORGANIZAÇÕES GLOBALIZADAS: grupo de estudos alterjor: jornalismo popular e alternativo (eca-usp). **Revista Alter Jor**, São Paulo - Sp, v. 2, n. 24, p. 79-95, dez. 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/alterjor/article/view/187464/174551>. Acesso em: 14 ago. 2022.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da Pesquisa Científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.  
FREIBERG, J. A; DAMBROS, C. S; RODRIGUES, E. N. L; TEIXEIRA, R. A; VIEIRA, Â. D. H. N; ALMEIDA, H. S; CARVALHO, P. C. F; JACQUES, R. J. S. Increased grazing intensity in pastures reduces the abundance and richness of ground spiders in an integrated crop-livestock system. **Agronomy For Sustainable Development**, [S.L.], v. 40, 17 dez. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-019-0604-0>.

GALVÃO, J. C. C; MIRANDA, G. V.; SANTOS, I. C. Adubação orgânica em milho. **Revista Cultivar**, Pelotas - Rs, nov. 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/adubacao-organica-em-milho>. Acesso em: 22 ago. 2022.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas S.a, 2002.

GOMES, C.F.S, MAIA, A. C. C. Biomassa como alternativa para o fornecimento de energia. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v.4, n.1, 2012.

GOMES, C. F. S; COSTA, H. G; SOUZA, G. G. Abordagem estratégica para a seleção de sistemas ERP utilizando apoio multicritério à decisão. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 3, p. 1060-1088, 2013.

GOMES, L. F. A. M. & ARAYA, M. C. G. & CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos: Introdução aos Métodos Discretos do Apoio Multicritério à Decisão**. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, L. F. A. M; GOMES, C. F. S. ALMEIDA, A.T.; **Tomada de decisão Gerencial: Enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2ª edição, 2006.

GOMES, L. F. A. M; GOMES, Carlos Francisco Simões; ALMEIDA, Adiel Teixeira. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. revista e ampliada. São Paulo. Ed. Atlas, 2012.

HAUGAASEN, T; EDWARDS, D P. Land- sparing agriculture sustains higher levels of avian functional diversity than land sharing. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 25, n. 5, p. 1576-1590, 13 mar. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.14601>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14601>. Acesso em: 14 ago. 2022.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9 ed. São Paulo: Mc Graw-Hill, 2013. [j/cebape/a/pj5zyj5bZV3C85shcxhZSrg/abstract/?lang=pt](http://dx.doi.org/10.1111/gcb.14601). Acesso em: 14 ago. 2022.

KHWIDZHILI R.H., WORTH S. Evaluation of policies promoting sustainable agriculture in South Africa. **South African Journal of Agricultural Extension**, v. 45, n. 2, p. 73-85, 2017.

KHWIDZHILI R.H., WORTH S. Evaluation of South Africa's public agricultural extension in the context of sustainable agriculture. **South African Journal of Agricultural Extension**, v. 47, n. 1, p. 20-35, 2019.

KHWIDZHILI R.H., WORTH S. Romotion of sustainable agriculture by MpumalangaAgricultural extension services: perspective of public extension praticioners. **South African Journal of Agricultural Extension**, v. 48, n. 1, p. 1-16, 2020.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. Edição, São Paulo: Atlas 2003.

LIMA, M. M; MIRANDA, M.G; DUSEK, P. M; AVELAR, K. E. S. A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL SOB O TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE. **Semioses**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 76-86, 24 set. 2019. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta - UNISUAM. <http://dx.doi.org/10.15202/1981996x.v13n3p76-86.2019>. Disponível em: <https://revistas.unisuam.edu.br/index.php/semioses/article/view/392/167>. Acesso em: 24 ago. 2022.

MATOS, N. C. S.; ANDREAZZI, M. A.; LIZAMA, M.L.A.P. A.; URPIA, G. B. C. Perception of sustainable agriculture in Maringá municipality, Paraná state, Brazil. **Interações**, v. 22, n. 1, p. 243-262, 2021.

MAY, P. H. et al. **Economia do Meio Ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: elsevier, 2003.

MEIRELLES, C. L. A; GOMES, L. F. A. M. O apoio multicritério à decisão como instrumento de gestão do conhecimento: uma aplicação à indústria de refino de petróleo. **Pesquisa Operacional**, v. 29, n. 2, p. 451-470, 2009.

MELLO, R. L; DIAS, N. W. AGRICULTURA FAMILIAR SUSTENTABILIDADE SOCIAL E AMBIENTAL. In: XII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 12., 2014, São José dos Campos - São Paulo. São José dos Campos - São Paulo: Universidade do Vale do Paraíba, p. 1-4. 2014. Disponível em: [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2008/anais/arquivosEPG/EPG00978\\_01\\_A.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivosEPG/EPG00978_01_A.pdf). Acesso em: 24 ago. 2022.

MICHEREFF, S. J.; BARROS, R. **PROTEÇÃO DE PLANTAS NA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**. Recife - Pe: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2001. 368 p. Disponível em: <https://jbb.ibict.br/bitstream/1/597/1/2001%20Prote%c3%a7%c3%a3o%20de%20plantas.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2022.

MIGUEL, A.S.D.C. *et al.* São. Cover Crops in the Weed Management in Soybean Culture. **Planta Daninha: SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**. Viçosa - Mg, p. 1-10. jan. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/cvgD4fx3RPwFfjk8RwyXNkM/?lang=en#>. Acesso em: 14 ago. 2022.

MIGUEL, A. S. D. C. *et al.* São. Phytomass and nutrient release in soybean cultivation systems under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília - Df, p. 1119-1131. out. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/cQFHwTt3ZSHF44qVY4TyqYg/?lang=en#>. Acesso em: 14 ago. 2022.

MORETTI, L. G; LAZARINI, E; BOSSOLANI, J. W; PARENTE, T. L; CAIONI, S; ARAUJO, R. S; HUNGRIA, M. Can Additional Inoculations Increase Soybean Nodulation and Grain Yield? **Agronomy Journal**, [S.L.], v. 110, n. 2, p. 715-721, mar. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2017.09.0540>.

OLIVEIRA, L. R; MEDEIROS, R. M; TERRA, P. B; QUELHAS, O. L. G. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. **Production**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 70-82, 10 nov. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132011005000062>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/rm7ny98HNftrnRMJpFLddGm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 ago. 2022.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 15, n. 43, p. 303-326, dez. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142001000300023>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/Y3gXh64789JHtYJfrcZBSzH/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 14 ago. 2022.

ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1996.

SABAR, B; MIDYA, D. K. Intersecting Knowledge With Landscape: indigenous agriculture, sustainable food production and response to climate change : a case study of chuktia bhunjia tribe of odisha, india. **Journal Of Asian And African Studies**, [S.L.], p. 002190962210996, 25 maio 2022. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/00219096221099634>.

Sustainable agricultural production: implications for international agricultural research. *FAO Res. and Tech. Paper 4*, 131 p. 1989.

VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. John Wiley & Sons, 1992.

WANDERLEY, N. Raízes históricas do campesinato brasileiro. In: TEDESCO (Org.) **Agricultura familiar: realidades e perspectivas**. Passo Fundo-RS: UPF, 2001.

WIKIWAND. **Lista de mesorregiões e microrregiões da Paraíba**. Disponível em: [https://www.wikiwand.com/pt/Lista\\_de\\_mesorregi%C3%B5es\\_e\\_microrregi%C3%B5es\\_da\\_Para%C3%ADba](https://www.wikiwand.com/pt/Lista_de_mesorregi%C3%B5es_e_microrregi%C3%B5es_da_Para%C3%ADba). Acesso em: 23 ago. 2022.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia da pesquisa**. SEAD/UFSC, 2006.