



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS



JOSÉ ERIVALDO DA SILVA

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA
FAMILIAR, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NA
PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO SEMIÁRIDA

(Área de Concentração: *Gestão de Recursos Naturais*)

Campina Grande-PB,
Junho de 2024

JOSÉ ERIVALDO DA SILVA

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA
FAMILIAR, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NA
PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO SEMIÁRIDA

(Área de Concentração: Gestão de *Recursos Naturais*)

Tese submetido ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais
da Universidade Federal de Campina Grande -
UFCG como parte dos requisitos para obtenção
do Título de Doutor.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Martins

Campina Grande-PB,
Junho de 2024

S586m

Silva, José Erivaldo da.

Metodologia de avaliação da sustentabilidade na agricultura familiar, a partir da utilização de sistemas de irrigação na produção agrícola na região semiárida / José Erivaldo da Silva. – Campina Grande, 2024.

169 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

“Orientação: Profa. Dra. Maria de Fátima Martins”.

Referências.

1. Irrigação – Agricultura Familiar – Semiárido. 2. Recursos Hídricos. 3. Uso Eficiente da Água – Sustentabilidade. I. Martins, Maria de Fátima. II. Título.

CDU 631.67(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

José Erivaldo da Silva

"METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA FAMILIAR, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO SEMIÁRIDA".

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de Doutor Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 13/06/2024

Dr.(a.) **Maria de Fátima Martins** (Orientador PPGEGRN).

Dr.(a.) **Sergio Murilo Santos de Araújo/PPGEGRN**(Examinador Interno).

Dr.(a.) **Hugo Moraes de Alcantara/PPGEGRN** (Examinador Interno).

Dr.(a.) **Alex Bruno F.M. Nascimento/UAA/UFCG** (Examinador Externo).

Dr.(a.) **Gesinaldo Ataíde Cândido/PPGA/UFPB** (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA DE FATIMA MARTINS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/06/2024, às 09:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ALEX BRUNO FERREIRA MARQUES DO NASCIMENTO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/06/2024, às 09:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO MURILO SANTOS DE ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/06/2024, às 09:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **HUGO MORAIS DE ALCANTARA, DIRETOR(A) DE CENTRO**, em 17/06/2024, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gesinaldo Ataíde Cândido, Usuário Externo**, em 25/06/2024, às 10:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4506236** e o código CRC **E6FFE29A**.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, e por ter permitido minha caminhada até aqui.

Aos meus pais, por toda luta, todo carinho, ensinamentos, incentivos e sempre acreditar em mim.

A minha orientadora Dr^a. Maria de Fátima Martins por seus ensinamentos e dedicação a este estudo e, principalmente, por ter acreditado na proposta e, assim, investir seu tempo na realização dessa pesquisa.

Aos demais membros da banca por toda dedicação, zelo e atenção desde a qualificação até a defesa final.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo financeiro, facilitando a realização deste estudo.

A todos(as) que fazem parte do PPGRN/UFCG pela atenção merecida e apoio.

Aos amigos e familiares que de algum modo torcem para o alcance de nossas realizações.

DEDICATÓRIA

A Deus, fonte maior da minha existência. Por tantas bênçãos concedidas. Por iluminar meu caminho e proporcionar forças para superar todas as adversidades.

A meus pais. A minha mãe, pelo amor incondicional, por incentivar e, muitas vezes, facilitar e minimizar os problemas tanto da vida, quanto da academia, ao lado dos filhos sempre fez o melhor que pode.

A meu pai, que, apesar de não ser um conhecedor do mundo acadêmico, sempre esteve ao lado dos filhos apoiando da forma como lhe era possível.

SILVA, José Erivaldo da. *metodologia de avaliação da sustentabilidade na agricultura familiar, a partir da utilização de sistemas de irrigação na produção agrícola na região semiárida*. 159f. (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, 2024.

RESUMO

Mesmo mediante as discussões em âmbito mundial a respeito do desenvolvimento sustentável, muitos países ainda enfrentam problemas em relação ao meio ambiente e, sobretudo relacionado aos recursos hídricos. No Brasil, houve um crescente processo de degradação ambiental nas últimas décadas, levando o país a criar mecanismos de gestão, como leis e decretos criados na perspectiva da proteção do meio ambiente e dos recursos ambientais, regulando a Política Nacional para Recursos Hídricos (PNRH), oferecendo elementos que propicie aos Estados Federados a gestão de seus recursos a partir da gestão democrática e participativa, assim e tendo por base a gestão dos recursos hídricos, com base nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, e a agricultura familiar irrigada em região semiárida, a presente pesquisa teve por objetivo Propor uma metodologia de avaliação da sustentabilidade da Agricultura Familiar, mediante utilização de sistemas de irrigação para a produção agrícola na região semiárida em Municípios da Paraíba. Dentre as características pretendidas e incorporadas ao modelo, destaca-se sua capacidade de inter-relacionar o uso eficiente da água em unidades familiar produtiva em diferentes sistemas de irrigação alternativos ligados aos ODS, da Agenda 2030, além desses, foram incorporados outros aspectos possíveis e operacionalmente viáveis que possam existir em qualquer sistema de irrigação em unidade familiar. A idealização do mesmo foi pensada de tal modo que possibilite a perfeita adequação, implantação e operacionalização, especialmente em relação a utilização de recursos hídricos na região semiárida brasileira. O processo de criação da metodologia de avaliação foi montado e testado no Município de Cabaceiras-PB no semiárido paraibano, Cariri Oriental do Estado, utilizando recursos de reservatório e controlado por bombeamento e armazenado em caixa da água para aferição dos dados, que foram obtidos em três momentos distintos, estes foram analisados de forma integrada via a metodologia de avaliação proposta considerando o consumo de água por sistema, os custos de implantação, a produção e os retornos de escala no período de um ano, em seguida, projetou-se para um novo período seguindo as mesmas condições, no intuito de obtenção de dados que validasse ou não a metodologia, assumindo cenários possíveis utilizando ou não o uso de água subterrânea, para cada cenário foi admitido duas situações: utilização do sistema mais eficiente no uso da água independente do resultado produtivo ou utilização do sistema com melhores resultados produtivos independente do consumo de água; os resultados demonstram que todos os sistemas testados são eficientes quando ao consumo de água, a produção e proporcionam retornos em escala econômica satisfatórios, uma vez que a diferença entre os resultados se equilibram dado o pequeno distanciamento na escala produtiva e de consumo de água, a condição demonstrou a eficiência do sistema e a sustentabilidade dos mesmo, oportunizando a família residente no semiárido que desejando pode produzir incrementando a renda familiar a partir da produção irrigada em reservatórios controlados a exemplo de equipamentos como poços artesianos, cisternas e/ou barragens, desde que sejam capazes de fornecer acima de vinte mil litros de água por ciclo produtivo.

Palavras chaves: semiárido, Recursos Hídricos, Uso Eficiente da Água, Sustentabilidade.

SILVA, José Erivaldo da. methodology for assessing sustainability in family farming, based on the use of irrigation systems in agricultural production in the semi-arid region. 159f. (PhD in Natural Resources) – Graduate Program in Natural Resources Engineering and Management – PPGEGRN, Federal University of Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, 2024.

SUMMARY

Even in the midst of global discussions on sustainable development, many countries still face problems related to the environment and, above all, related to water resources. In Brazil, there has been a growing process of environmental degradation in recent decades, leading the country to create management mechanisms, such as laws and decrees created from the perspective of protecting the environment and environmental resources, regulating the National Policy for Water Resources (PNRH), offering elements that provide the Federated States with the management of their resources based on democratic and participatory management. Thus, and based on the management of water resources, based on the Sustainable Development Goals – SDGs, and irrigated family farming in a semi-arid region, the present research aimed to propose a methodology for evaluating the sustainability of Family Farming, through the use of irrigation systems for agricultural production in the semi-arid region in Municipalities of Paraíba. Among the characteristics intended and incorporated into the model, its ability to interrelate the efficient use of water in productive family units in different alternative irrigation systems linked to the SDGs of the 2030 Agenda stands out, in addition to these, other possible and operationally viable aspects that may exist in any irrigation system in a family unit were incorporated. Its idealization was designed in such a way as to enable the perfect adequacy, implementation and operationalization, especially in relation to the use of water resources in the Brazilian semi-arid region. The process of creating the evaluation methodology was set up and tested in the Municipality of Cabaceiras-PB in the semi-arid region of Paraíba, Eastern Cariri of the State, using reservoir resources and controlled by pumping and stored in a water tank to measure the data, which were obtained in three different moments, these were analyzed in an integrated way via the proposed evaluation methodology considering the water consumption per system, The implementation costs, production and scale returns in the period of one year, then it was projected for a new period following the same conditions, in order to obtain data that validated or not the methodology, assuming possible scenarios using or not the use of groundwater, for each scenario two situations were admitted: use of the most efficient system in the use of water regardless of the productive result or use of the system with better productive results regardless of water consumption; The results demonstrate that all the tested systems are efficient in terms of water consumption, production and provide satisfactory returns on an economic scale, since the difference between the results is balanced given the small distance in the scale of production and water consumption, the condition demonstrated the efficiency of the system and its sustainability. Providing opportunities for the family living in the semi-arid region to produce and increase family income from irrigated production in controlled reservoirs, such as equipment such as artesian wells, cisterns and/or dams, as long as they are capable of supplying more than twenty thousand liters of water per production cycle.

Keywords: semi-arid, Water Resources, Efficient Use of Water, Sustainability.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABA – Agência de Bacias Hidrográficas
ABRA – Associação Brasileira de Recursos Hídricos
AESA – Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba
AFD – Agricultura Familiar Diversificada
ANA – Agência Nacional das Águas
ASABRASIL – Articulação no Semiárido Brasileiro
BS – Barometer of sustainability
Bsh – Clima Semiárido
CBAs – Comitês de Bacias Hidrográficas
CDR – Centro de Desenvolvimento Regional
CDS – Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DNAEE – Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica
DS – Dashboard of Sustainability
FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GPI – Genuine Progress Indicator
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IDRC – Internacional Development Research
IFPB – Instituto Federal de Educação da Paraíba
ISEW – Index of Sustainable Economic Welfare
IUCN – Institut World Conservation Union
MEP – Monitoring Environmental Progress
MMA – Ministério do Meio Ambiente
NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS – Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
PE – Ecological Foot Print
PEIR – Pressão Estado Impacto Resposta
PER – Pressão Estado Resposta
PIB – Produto Interno Bruto
PNRH – Política Nacional para Recursos Hídricos
PRH – Plano para Recursos Hídricos
PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PSA – Serviços Ambientais
PVC – Policloreto Vinila (tubos de plástico)
RSL – Revisão Sistemática de Literatura
SINGER – Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH – Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos
SNRH – Sistema Nacional de Recursos Hídricos
SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento para o Nordeste
UEPB – Universidade Estadual da Paraíba
UFPB – Universidade Federal da Paraíba

LISTA DE QUADROS

	<i>Tabela</i>	<i>Página</i>
<i>Quadro 1 – Classificação das águas doces, salobras e salinas no Brasil feita pelo CONAMA -----</i>		35
<i>QUADRO 2 - Estrutura do IDEA -----</i>		50
<i>Quadro 3 - Indicadores que podem ser adotados em aplicação do MESMIS -----</i>		53
<i>Quadro 4: Matriz de amarração -----</i>		63
<i>Quadro5 – Área utilizada por fase do experimento-----</i>		90
<i>Quadro 6 – Tempo Consumido: semanas e dias -----</i>		91
<i>Quadro 7 – Relação de espécies de plantas utilizadas x consumo -----</i>		92
<i>Quadro 8 – Caminhada transversal das ações antrópicas sobre o meio ambiente-----</i>		115
<i>Quadro 9 - Matriz de responsabilidade: relação de atividade e subatividade no sistema –</i>		120
<i>Quadro 10: princípios, critérios e procedimentos para avaliação do sistema -----</i>		122
<i>Quadro 11: Indicadores adotados para avaliação da sustentabilidade do sistema-----</i>		126

LISTA DE TABELAS

	<i>Tabela</i>	<i>Página</i>
<i>Tabela 1 – volume global da água e fluxos do ciclo hidrológico global -----</i>		29
<i>Tabela 2 – Análise de distribuição para avaliar a água para irrigação -----</i>		31
<i>Tabela 3- Precipitação por municípios -----</i>		60
<i>Tabela 4 – Área Cultivada em Metros testado no Experimento -----</i>		66
<i>Tabela 5 – Consumo de água x produtividade nos canteiros experimentais da fase 1-----</i>		96
<i>Tabela 6 – Consumo de água x produtividade nos canteiros experimentais da fase 2-----</i>		97
<i>Tabela 7 – Consumo de água x produtividade nos canteiros experimentais da fase 3 -----</i>		99
<i>Tabela 8. Orçamento do custo de produção de ¼ de hectare destinado a produção de verduras, hortaliças, e legumes em sistemas de irrigação. -----</i>		101
<i>Tabela 9 – Receita bruta da venda dos produtos -----</i>		103
<i>Tabela 10. Orçamento do custo de produção do segundo ano de manutenção de 1,0 hectare destinado a produção de verduras, hortaliças, e legumes em sistemas de irrigação</i>		106
<i>TABELA 11. Mensuração dos valores de depreciação e remuneração do capital da implantação de um hectare para o Sistema de Produção com Irrigação. -----</i>		108
<i>Tabela 12. Mensuração do custo de produção de manutenção dos sistemas testados e custo unitário de 1,0 hectare estimado para os sistemas de Produção com Irrigação. -----</i>		109

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
<i>Figura 1 – Ciclo da Água -----</i>	28
<i>Figura 2 - Ciclo de Avaliação do MESMIS -----</i>	52
<i>Figura 3 – Esquema dos sistemas de irrigação testados – protótipo -----</i>	95

LISTA DE IMAGENS

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
<i>Imagem 1 – Área cultivada e montagem dos sistemas -----</i>	87
<i>Imagem 2- Sistema de saída de água para as plantas (aranhas)-----</i>	88

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico</i>	<i>Página</i>
Gráfico 1 - Precipitação anual para o ano de 2021 do Município de Cabaceiras período de janeiro de 2021 a 13 de outubro de 2021. -----	61
Gráfico 2 – visualização dos aspectos de implantação dos sistemas -----	113
Gráfico 3 – Planejamento de implantação do sistema para produção de forragem em consórcio com a produção de alimentos utilizados no experimento-----	116

LISTA DE MAPAS E DIAGRAMAS

<i>Mapa / Diagramas</i>	<i>Página</i>
Mapa 1- Semiárido Brasileiro -----	56
Mapa 2- Divisão do Estado da Paraíba em Regiões Geoadministrativas -----	58
Mapa 3 – Precipitação acumulada dos Municípios da Paraíba período (01/01/2021 à 04/09/2021) -----	59
Mapa 4 – Localização Geografia do Cariri Oriental e de Cabaceiras -----	76
Mapa 5- Tipos de Solos -----	78
Mapa 6 – Clima -----	80
Mapa 7 – Vegetação -----	82
Mapa 8 – Hidrografia -----	84
Diagrama 1 – Relação de empatia das pessoas para com o meio ambiente a partir do relato de experiência -----	118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMA	20
1.2 OBJETIVOS:	22
Geral	22
Específicos	23
1.3 JUSTIFICATIVA	23
1.4 CARÁTER INOVADOR DA PESQUISA	26
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1 Água e o ciclo hidrológico	27
2.2- Água para agricultura	30
2.3 Tipos de água para irrigação	33
2.4 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	36
2.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E O USO DA ÁGUA	38
2.6 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E O USO DA ÁGUA	41
2.7 AVALIANDO A SUSENTABILIDADE	45
2.8 MÉTODO IDEA	49
2.9 MÉTODO MESMIS	51
3 METODOLOGIA	54
3.1 – Caracterização da Pesquisa	54
3.2 – Descrição da Área de Estudo	56
3.3 – Abordagem do Problema e Etapas da Pesquisa	61
3.4 – Instrumentos de Coleta de Dados	70
3.5 – Mapeamento e Mobilização de Grupos de Interesse	71
3.6 – Pesquisa Bibliográfica	72
3.7 – Revisão Sistemática da Literatura (RSL)	72
3.8 – Pesquisa Documental	72
3.9 – Mapeamento dos dados da pesquisa e parâmetros de montagem do modelo	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	75

4.1 – Caracterização da área Geográfica	75
4.2 – Condições naturais	76
4.2.1 – Solo	77
4.2.2 – Clima	79
4.2.3 – Vegetação	80
4.2.4 – Hidrografia	83
4.3 ESCOLHA DO TERRENO E PREPARAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO	85
4.3.1 – Montagem dos experimentos	86
4.4 – Área utilizada no experimento e tempo de duração	89
4.5 – Culturas utilizadas para análise	91
4.6 – Sistemas de irrigação analisados: consumo de água e produtividade	93
4.7 – Custos de implantação dos sistemas	101
4.8– Constituição do Modelo (parâmetros de análise)	104
4.8.1 – Projeção de custos para a produção agrícola para um hectare, considerando o período de um ano	104
4.8.2 Parâmetros de avaliação da sustentabilidade	111
4.8.3 Caminhada Transversal e a observação visual do experimento	114
4.8.4 Definição dos princípios, critérios e procedimentos para avaliação do sistema estudado, a partir do MESMIS e do IDEA	121
4.8.5 Dimensões alcançadas pelo sistema estudados: análise dos atributos e indicadores nas dimensões ambiental, social e econômica	124
CONSIDERAÇÕES FINAIS	130
REFERÊNCIA	135
APENDECE	145
ANEXOS	151

1. INTRODUÇÃO

Sendo um recurso essencial a vida, a água ocupa uma posição ímpar na história do planeta terra, de modo que nenhuma outra substância natural a substitui ou se compara a ela nos processos geoquímicos básicos, e, assim sendo é promotora de desenvolvimento, acompanhando as civilizações desde seu surgimento, no entanto, é no século XX que o desenvolvimento provocou profundas transformações no planeta e, tais transformações continuam no atual século.

O Século XX foi repleto de transformações em todas as dimensões da existência humana, o desenvolvimento tecnológico desencadeou um aumento exponencial na expectativa de vida dos humanos ao mesmo tempo em que elevou consideravelmente a capacidade de destruição em massa (FAOSTAT, 2021), inclusive destruição dos recursos naturais, isto pela demanda cada vez maior pelo consumo de matéria e energia.

Com o desenvolvimento tecnológico e o aumento na expectativa de vida, ocorreu um aumento no consumo de matéria e energia para manter as necessidades da sociedade, ao mesmo tempo em que a alta demanda por bens e serviços ocorre no mundo todo ainda que não houve atendimento uniforme no consumo desses pela população de modo geral, isto pela disparidade nos padrões de vida e de consumo das pessoas no globo, em nível de países, ocorre de forma significativa desigualdades entre seus habitantes (FAO, 2020; CEDAE, 2020), desigualdade inclusive ao acesso aos recursos naturais inclusive a água.

A crescente demanda pela água é maior pelas atividades da agricultura que pelo setor urbano, o setor agrícola é alto demandante por água com baixa eficiência de uso (GONZALEZ-ROMERO & RUBIO, 1993); se houver uma política de eficiência para o setor agrícola há potencialmente uma economia significativa na demanda pelo recurso, estudos mostram que apenas um incremento de 10% na eficiência do uso agrícola, seria correspondente a uma poupança de equivalência ao volume demandado de consumo em todo o mundo em uso urbano (GONZALEZ-ROMERO & RUBIO, 1993). Uma ação dessa natureza tende a calhar com a sustentabilidade dos sistemas de irrigação, uma vez que reduziria o consumo e mantinha o nível produtivo ou elevaria esse, dadas às condições de racionalidade uso de tecnologias. Essa seria uma necessidade urgente para dar sustentabilidade aos sistemas inseridos em regiões semiáridas, visto que estas regiões já são carentes de recursos hídricos.

Assim, ao compreender as consequências desse processo, os tomadores de decisões e fazedores de políticas, intelectuais e população de modo geral, passam a refletirem sobre o desenvolvimento e as consequências desse desenvolvimento assim como o acesso aos resultados deste pela população, agregada a isso o aumento da pressão antroposfera sobre a ecosfera, resultando por assim dizer em um crescimento da consciência sobre a problemática ambiental (HOBSBAWN, 1996); considerando a desigualdade de acesso aos recursos naturais e a água.

O crescimento que tem ocorrido, eleva de forma considerável os extremos pobreza/riqueza, apesar de políticas mundialmente pensadas e acompanhadas pelos órgãos internacionais a exemplo da ONU – Organização das Nações Unidas, OMS – Organização Mundial da Saúde FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, etc. terem se esforçado para minimizarem esses extremos, o acesso aos recursos naturais e aos da produção são determinantes em um processo contínuo de estratificação social.

Grosso modo, são os mais pobres que tem menos acesso aos serviços e aos recursos naturais, inclusive a água, assim pertencem a um estrato social com maior probabilidade de ter acesso limitado à água e ao saneamento básico adequado. Em se tratando de áreas urbanas, é sabido que casas com água encanada tendem a pagar muito menos por litro d'água na conta do que pessoas pobres que moram em favelas e que muitas vezes necessitam comprar água de caminhões gastando cerca de dez a vinte vezes mais (FAO, 2021).

Quase metade da população que consome água potável de fontes desprotegidas no mundo vive na África Subsaariana, onde apenas vinte e quatro por cento dos habitantes têm acesso a água potável segura. Dessa forma, garantir acesso a água potável, além de ser uma questão de justiça social salvar vidas, o acesso a água também equilibra as desigualdades econômicas, e promove desenvolvimento com sustentabilidade (FAO, 2020).

Do mesmo modo que o acesso urbano da água é uma questão de poder aquisitivo, isto é, tem acesso aqueles que dispõem de certo limite na reta orçamentária, essa também é uma realidade para as áreas rurais, sobretudo para produção agrícola através da irrigação que, grosso modo, não é uma atividade de baixa demanda de recursos, mas pelo contrário e, como a produção de alimentos é essencial para a nutrição da humanidade, utilizar de forma eficiente a água destinada a agricultura é uma questão crucial para o processo de desenvolvimento nos dias atuais (TISDELL, 2002). Essas necessidades por si só justifica o

desenvolvimento de tecnologia que possibilite o uso eficiente da água, especialmente tecnologias sociais as quais tendem a atender as camadas sociais de maior necessidade.

O acesso a água torna-se mais grave em períodos de crises hídricas agudas, pois são momentos em que os estratos sociais menos favorecidos tendem a sofrer mais com a escassez de água e os sistemas entram em colapso ou ficam sobrecarregados, as pessoas ficam traumatizadas com fome, desidratadas e exaustas, mais vulneráveis a doenças como diarreia e cólera, de modo que o gerenciamento dos recursos hídricos torna-se imprescindível, especialmente para a parcela d'água destinada a agricultura irrigada, onde o controle e a cobrança é mais vulnerável (ALMEIDA, 2010).

A escassez de água, a baixa qualidade e o saneamento inadequado impactam negativamente a segurança alimentar, as opções de subsistência e as oportunidades educacionais para famílias pobres em todo o mundo, especialmente para mulheres e meninas que passam inúmeras horas buscando água em longas distancias, essas condições evidenciam a urgência em um sistema de controle do uso da água e a cobrança adequada desse recurso, pois é sabido que a adequada cobrança é um forte instrumento de controle e uso eficiente e como a escassez de água põe em risco a produção de alimentos, em especial a produção irrigada que ao longo dos tempos tem se demonstrado como a responsável pela manutenção e reposição dos alimentos no mercado.

Partindo do pressuposto do uso racional e da sustentabilidade, o uso na irrigação necessita ser avaliado a partir dos sistemas de irrigação utilizado para verificar a eficiência do mesmo e as condições sustentáveis as quais esses se propõem, a avaliação pode ser realizada a partir de indicadores entendendo-os como dinamizadores da gestão democrática e do uso racional (ARAMASCHI. et. al., 2000).

A “vista do papel da agricultura irrigada como a máquina alimentícia do mundo”, a competição pela água não pode converter-se em um crescimento menor da produção de alimentos ou em uma redução absoluta da área irrigada no mundo. O desafio do setor da agricultura irrigada é, portanto, produzir mais alimentos mediante uma melhor transformação da água utilizada (ALMEIDA, 2010), fator que identifica *per si*, sistemas alternativos de irrigação como algo capaz de promover o desenvolvimento com sustentabilidade e uso eficiente da água, características completamente adequadas ao sistema de irrigação localizado por capilaridade.

A eficiência no uso da água para à agricultura está diretamente ligado aos custos dessa no processo produtivo e, o quanto o produtor pagará por seu uso, sendo, portanto, o

preço pago pela água utilizada na agricultura irrigada uma maneira de reduzir e/ou melhorar em eficiência a quantidade de água utilizada em cada irrigação, esses mecanismos podem inclusive melhorar o desperdício de água no processo produtivo, e, em si tratando de irrigação localizada por capilaridade.

Usar a fração não consumida de água de irrigação já desviada é uma alternativa à economia, que pode ser induzida por uma tecnologia social adequada a região e ao clima, visto que uma grande parte da água de irrigação, aproximadamente metade, não é realmente consumida pelo cultivo e, portanto, acaba como água de drenagem (HILL, 1994; FREDERIKSEN, 1992), e se o sistema é eficiente, o consumo de água diminui, pois será fornecida água diretamente a planta, atendendo apenas suas necessidades; assim, racionar a água utilizada na agricultura irrigada tende ao uso eficiente desse recurso, funcionando como um sinal que indica a seus usuários o seu valor, e leva-os a racionalizar o seu uso (TSUR, 2005), em se tratando de tecnologias sociais como o sistema de irrigação localizada por capilaridade, o preço não necessariamente será monetário, mas em serviços sistêmicos e a própria redução de consumo no sistema.

Naturalmente, a potencial escassez de um bem gera a necessidade de alocação eficiente e, sendo escassos os recursos hídricos, elaborar mecanismos de alocação é essencial, o controle a partir do uso racional mostra-se como uma forte tendência aos recursos hídricos, especialmente quando estes são utilizados na produção de alimentos a partir da irrigação.

Para suavizar a situação e alocar os recursos de forma democrática, sustentável e com equidade é fundamental compreender a relação entre a produção de alimentos, a área utilizada, as técnicas de produção, a captação e distribuição da água para irrigação, fazendo com que os usuários e os tomadores de decisão tenham clareza na necessidade do uso com eficiência e, especialmente que toda a sociedade seja beneficiada ou ao menos que haja uma distribuição satisfatória, de modo a atender aos princípios básicos da vida e da sustentabilidade, avaliando sobretudo a eficiência do sistema.

Avaliar a atividade agrícola utilizando os sistemas de irrigação é uma necessidade, especialmente na presença de escassez hídricas, precipitação abaixo da média anual e as restrições nas opções de uso, sobretudo quando a região é semiárida, de sorte que um modelo para avaliar a sustentabilidade do uso da água não pode ser pensado sem a contínua observação das condições de uso, do destino final dos produtos, da fonte originária da água,

da região em que o sistema esteja localizado, os impactos desse ao meio ambiente, assim como, as respostas desse a demanda social, a pressão do sistema ao meio ambiente.

A avaliação da sustentabilidade é mais sobre como um processo é desenvolvido do que um novo processo em si, toda a proposta para a avaliação é parte de um processo de desenvolvimento da sociedade, e, esta inclusa nessa, aspectos da sustentabilidade, abrangida a elaboração de novas propostas para avaliação de iniciativas existentes, buscando oportunidades de melhorias, dentro dessas melhorias descritas acima, pode se incluir as existentes nos Objetivos da Sustentabilidade e, que para o uso da água pode-se observar os objetivos 2 – fome zero e agricultura sustentável, objetivo 6 – água potável e saneamento: assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos e o objetivo 14 – vida na água, que objetiva conservar e usar sustentavelmente os oceanos, mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável (AGENDA, 2030).

A avaliação da sustentabilidade foi realizada a partir dos critérios de flexibilidade do sistema, das condições de uso e ocupação do solo, da quantidade e disponibilidade de água, das técnicas de produção, da capacidade de participação dos atores envolvidos no processo, assim como das diversas possibilidades de dimensões que podem alcançar, tomando por base o MESMIS e alguns indicadores do IDEA.

O IDEA possibilita avaliar a sustentabilidade de um sistema agrícola a partir da quantificação de características técnicas, espaciais, econômicas e humanas, considerando também práticas favoráveis ao meio ambiente biofísico e social, estruturado e baseado nas dimensões agroambiental, sócio territorial e econômica (VILAIN, 2008).

O MESMIS é um método cíclico, participativo e multi-escalar, que busca identificar alterações antrópicas sobre os sistemas com base nos padrões da sustentabilidade é aplicado em sistemas de produção agrícola, florestal, e/ou pecuário, buscando identificar de forma holística, os limites e possibilidades da sustentabilidade do sistema sob as perspectivas econômicas, social e ambiental (MASERA, et. al. 2000).

1.1 PROBLEMA

Ainda que a discussão sobre desenvolvimento sustentável seja efetiva, atualmente pode-se considerar um tempo relativamente curto, fator que leva muitos países a enfrentar graves problemas ambientais e, esses são mais efetivos quando relacionados aos recursos hídricos, pressupõem-se que cerca de 748 milhões de pessoas não tenham acesso a água potável

nos dias atuais e, mediante o ritmo em que a economia vem crescendo mundialmente a demanda por água tende a crescer em torno de 400% até 2050; para atender ao processo produtivo, nessa mesma linha de pensamento, apenas em 2050, estima-se que o crescimento da demanda por água para atender ao processo produtivo seja de 55%, agregado ao crescimento produtivo, a geração de energia, e ao consumo doméstico (WWAP, 2015).

Para o Brasil, que possui um território de aproximadamente 852 milhões de hectares e uma disponibilidade de água doce generosa com uma média de precipitação volumétrica anual de 14.995 km³ e um volume de recursos hídricos renováveis na ordem de 8.647 km³ ao ano sendo 5.661 km³ aproximadamente 65% do total sendo recursos interno (FAO-AGUASTAT, 2021); mesmo assim, dada a dimensão do país, a distribuição regionalizada tende aos extremos, regiões com alta concentração do recurso enquanto outras praticamente inexistem.

Em se tratando da distribuição espacial desses recursos, 55% concentra-se nas bacias do Amazonas e Tocantins-Araguaia, somente a bacia do Amazonas detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais internos, os 26,4% restantes estão divididos na ordem de 7,7% na bacia Tocantins-Araguaia, 1,6% na bacia do São Francisco, 1,4% no Oeste das bacias do Atlântico Norte, 0,4% parte Leste do Atlântico, 1,8% na bacia Sudeste do Atlântico, 2,3% na bacia Sul do Atlântico e 10% na bacia do Rio da Prata, sendo 6,4% no Rio Paraná, 1,3% no Rio Paraguai e 2,3% no Rio Uruguai (FAO-AGUASTAT, 2021).

Apesar do Brasil possuir uma relativa abundância de recursos hídricos, com aproximadamente 12% da água doce do mundo (ANA, 2018); o país enfrenta sérios problemas de escassez decorrente das condições climáticas, da distribuição dos recursos hídricos no território, uso descontrolado, ineficiência na gestão pública, falta de investimento na preservação ambiental etc. (SILVA, et. al., 2016); essas condições tem provocado uma diminuição na matriz hídrica brasileira nos últimos anos, posto os fatores acima citados e, quando relacionado a densidade demográfica encontra-se sérias distorções na relação entre volume de água e número de habitantes, usuários efetivos ou em potencial a exemplo da Região Norte que detém o maior volume de água e a segunda menor proporção de habitantes, contrastando com a Região Nordeste que possui o menor volume de recursos hídricos e, uma significativa concentração demográfica relativa.

Mediante a problemática do uso da água e as condições de escassez agregando a demanda crescente pelo uso desse recurso, especialmente para o processo produtivo, o Brasil vem institucionalizando o processo de gestão dos recursos hídricos, a Lei 9.433/97 – ‘Lei

das Águas’ que trata da política nacional dos Recursos hídricos, a Lei 519/93 – Lei dos Recursos Hídricos de Brasília, a Lei 6308/96; dos recursos hídricos da Paraíba, Decreto Estadual 33.613/2012 que estabelece a cobrança pelo uso dos recursos hídricos do Estado etc. e, esse instrumento outorga do direito, de igual modo a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, veem desempenhando papel importante na influência do uso do recurso e na busca por um processo de gestão democrática e sustentável da água.

A experiência internacional da cobrança pelo uso da água tem mostrado que além de ser utilizada como forma de racionalizar o uso dos recursos hídricos pode atuar também como mecanismo de gerenciamento da demanda, aumentando a produtividade e a eficiência na utilização dos recursos hídricos; redistribuição dos custos sociais de forma mais equitativa; disciplinamento da localização dos usuários; promoção do desenvolvimento regional integrado principalmente nas suas dimensões sociais e ambientais e, incentivo a melhoria dos níveis de qualidade dos efluentes lançados nos mananciais (CARAMASCHI, et. al., 2000), é um instrumento que auxilia na avaliação da sustentabilidade dos sistemas, especialmente em sistemas situados em regiões semiáridas.

A dimensão da variável ambiental no planejamento estratégico e gestão territorial são de fundamental importância para a proteção da disponibilidade hídrica e da qualidade da água; estabelecer um modelo de avaliação da sustentabilidade, o preço correto da água são mecanismos eficientes na alocação desse recurso, desse modo, a presente pesquisa busca entender **como sistemas de irrigação utilizados para produção agrícola podem contribuir para a sustentabilidade da Agricultura Familiar na região semiárida em Municípios da Paraíba?**

1.2 OBJETIVOS

GERAL

Propor uma metodologia de avaliação da sustentabilidade da Agricultura Familiar, mediante utilização de sistemas de irrigação para a produção agrícola na região semiárida em Municípios da Paraíba.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar a área geográfica do estudo, a partir das condições naturais do solo, clima, vegetação e hidrografia;
- Testar sistemas de irrigação na produção agrícola em diversas culturas locais, visando o uso eficiente da água na região semiárida;
- Analisar os sistemas de irrigação em três fases distintas, a partir dos custos de implantação dos sistemas, do consumo de água e produtividade do experimento;
- Propor um modelo de sistemas de irrigação combinados, a partir da projeção de custos da produção agrícola local, mediante o uso eficiente da água;
- Propor princípios, critérios e procedimentos para avaliação da sustentabilidade da produção agrícola, a partir do Modelo MESMIS e IDEA.

1.3 JUSTIFICATIVA

A água é um recurso natural essencial, ocupa papel crucial na biosfera, seja na constituição dos seres vivos ou como meio de propagação da vida de espécies animais e vegetais; a água também tem funções representativas de valores socioeconômicos, assim como tornou-se fator ímpar na produção de bens, serviços e produtos agrícolas.

Dos componentes inorgânicos presentes em organismos vivos, a água é o mais abundante, no homem representa 60% de seu peso, nos vegetais chega a 90% e, em alguns animais aquáticos essa representatividade chega a 98% (ALMEIDA, 2010); como função socioeconômica, a demanda por água tem aumentado significativamente nos últimos tempos (JERÓNIMO, et. al., 2015).

Em função do crescimento da demanda por água em escala global, demanda essa que se intensificou nos últimos anos do Século XX e, tem proporcionado mudanças de paradigmas na política de gestão de água, dando a remota política de fomento pela água, lugar a política do controle, da eficiência e da procura pela água com crescente introdução de critérios econômicos, com precificação, tarifas e mercado de águas (GLEICK, 2000). Assim como tem se intensificado no meio acadêmico e na sociedade de modo geral a necessidade de preservar esse recurso, de modo que sua utilização seja racional e de modo eficiente para que sua disponibilidade tenha maior durabilidade e seja sustentável do ponto de vista da quantidade e da qualidade já que é um recurso natural essencial a vida.

Nas atividades humanas, a água assume papel significativo como fator de produção e nas atividades pessoais sendo, portanto, um recurso indispensável nas atividades fisiológicas da unidade biológica humana, no Brasil, o consumo por pessoa ano está na ordem de 246 m³, isso em condições normais, considerando as condições mínimas necessárias a sobrevivência (FAO, 2020), sabendo que a água é um recurso natural finito no planeta, estima-se que a quantidade de recursos hídricos renováveis seja na ordem de 47.000 km³/ano, dos quais 41.000 km³/ano não são economicamente aproveitados (JOHANSSON, 2000; REZENDE, et. al. 2008); a quantidade de água bruta disponível para cada país é praticamente constante, se aliado ao crescimento mundial da população faz com que a avaliação de longo prazo para a disponibilidade de água seja de 4.380m³ por pessoa ano em 2050 (JOHANSSON, 2000; REZENDE, et. al. 2008).

Considerando todos os usos do recurso água, incluindo agricultura e indústria, fica notória a importância de entender e fazer entender a necessidade de um uso racional desse recurso, dado sua importância para a manutenção da vida e para a produção de bens pela indústria e agricultura, os sistemas agrícolas em sua maioria utilizam água das chuvas como principal fonte de abastecimento de água para as plantas, naqueles locais onde a quantidade de precipitação durante o ciclo de vida das plantas é insuficiente, e havendo água armazenada, esta pode ser utilizada para completar ou suplementar o fornecimento de água para as plantas.

Em regiões áridas onde geralmente a precipitação ocorre de forma concentrada e em período curto de tempo, a água armazenada é utilizada na agricultura como forma de irrigação; em todo o planeta, a agricultura consome cerca de 69% da água captada, a indústria consome 23% dessa água e, 8% é consumida no uso doméstico das famílias (FAO-AGUASTAT,2021); dada a importância da água para a vida no planeta e, para a produção de bens e serviços da humanidade, utilizá-la de modo racional e eficiente é imprescindível, dada a sua essencialidade e finitude.

De modo que, por ser um recurso essencial a vida e ao ser humano, é necessário usar de forma racional, eficiente e democrática, garantindo ao ser humano presente e futuro o direito ao acesso a água, assim, usá-la racionalmente torna-se uma essencialidade, racionar a água em todos os seus usos é imprescindível, de sorte que as atividades humanas nas quais a água seja utilizada, que seja eficiente e sustentável do ponto de vista da durabilidade e disponibilidade do bem com garantia de sua existência na natureza, fornecendo os serviços ambientais de forma sistêmica e sustentável.

Assim, a justificativa para a realização da pesquisa proposta, deu-se pela importância da água para a manutenção da vida no planeta, pela necessidade desse recurso nas atividades humanas, em seu uso doméstico, na indústria e na agricultura está última como sendo a atividade primeira na produção de alimentos, e alta demandante por água racionalizar pode ser um mecanismo com significativo poder de promoção de uma gestão democrática e eficiente, capaz de promover sustentabilidade especialmente em regiões semiáridas onde o recurso é ainda mais escasso, condição que por si só determina a racionalidade no uso na busca pela sustentabilidade e na gestão democrática de acesso a água.

Assim sendo, é importante montar um modelo de avaliação dos sistemas de irrigação utilizados pelos agricultores familiares em regiões semiáridas no qual o custo da água utilizado na agricultura irrigada seja evidenciado, haja vista a importância d'água para a vida, especialmente nas regiões áridas como é o caso do Nordeste Brasileiro onde a escassez da água é uma constante, utilizá-la de forma racional e eficiente é primordial para a manutenção do recurso para as gerações presente e futura.

O uso racional determina as condições de durabilidade do bem, o uso eficiente determina o aproveitamento máximo do potencial energético do bem, isso posto, para os bens públicos serem utilizados com esse entendimento é necessário a compreensão de todos os usuários em consenso e de forma coletiva em um processo contínuo de preservação e responsabilidade pela utilização do bem no intuito de tornar esse durável e, portanto, sustentável.

A sustentabilidade necessita ser medida por meio de indicadores bem selecionados, capazes de demonstrar o quão sustentável é a atividade tornando assim possível a mensuração da sustentabilidade oportunizando aos tomadores de decisão ações que proporcione bem-estar e conforto aos presentes e aos futuros usuários do bem público preservando os recursos naturais e por assim dizer os serviços que esses proporcionam.

Aos usuários do recurso cabe a utilização de forma consciente e com eficiência, em se tratando da água o uso racional é fundamental, o uso com parcimônia é fundamental para a sustentabilidade do sistema de irrigação, a partir do uso eficiente, mensurar a sustentabilidade a partir de indicadores é essencial e, pela característica de escassez do recurso água inserir nesse processo de mensuração um valor adicionado é de fundamental importância para o controle social econômica e ambiental da atividade.

Pelo exposto, o estudo ora proposto justifica-se pela necessidade de verificar a sustentabilidade e os custos de implantação de um sistema de irrigação localizada por

capilaridade, pois o uso eficiente e sustentável, possibilita a avaliação da sustentabilidade do sistema tendo essa como uma forma de limitar, isto é, torná-lo mais eficiente.

1.4 CARATER INOVADOR DA PESQUISA

A pesquisa apresenta significativa relevância para a área de gestão de recursos naturais, uma vez que trata da gestão de recursos hídricos, da sustentabilidade da atividade agrícola, de tecnologias sociais como mecanismos para enfrentar os desafios do semiárido e sua relação com as secas, bem como, evidencia oportunidades de geração de renda e qualidade de vida para as comunidades em municípios do Estado da Paraíba. Dessa forma, destaca-se o caráter inovador ao implementar sistemas de irrigação que permitem uma produção agrícola diversificada e embasada nos critérios da sustentabilidade, considerando os três aspectos principais, quais sejam, social, ambiental e econômico. A metodologia desenvolvida inova também ao permitir avaliação da sustentabilidade com base em indicadores de sustentabilidade voltados para a atividade agrícola, considerando as características dos municípios do semiárido e a realidade da produção agrícola local.

Pelo lado da interdisciplinaridade, a pesquisa contempla os requisitos mínimos exigidos a saber; os elementos básicos à implantação de um sistema simplificado de irrigação localizada por capilaridade testado, em comparação a outros sistemas de irrigação, utilizando os indicadores de sustentabilidade como parâmetros para avaliar a eficiência do sistema, no que diz respeito a sustentabilidade, a segurança hídrica, ao desenvolvimento regional sustentável, permeando os aspectos ambientais, sociais, econômicos e técnicos.

Os aspectos ambientais são contemplados, à medida que visa promover a melhoria na gestão dos recursos hídricos, em especial ao uso da água para agricultura irrigada, considerando os aspectos relativos ao meio ambiente e aos recursos naturais, especialmente ao recurso água e ao seu uso racional e eficiente em regiões semiáridas.

Os aspectos sociais são contemplados ao analisar como o acesso a água e a questão de gênero, especialmente em relação a distribuição da água para uso na agricultura irrigada, entendendo esse processo como capaz de promover o desenvolvimento local na região estudada de forma democrática, promovendo assim, o processo de desenvolvimento regional com base na sustentabilidade.

Já os aspectos econômicos são contemplados na medida em que se busca estabelecer o valor monetário da água na agricultura irrigada, a partir de modelagem econômica para

precificação desse recurso, utilizando uma função de produção que atenda aos requisitos da eficiência dos fatores de produção, como o uso de tecnologias que visem a melhoria do processo produtivo e o uso racional da água, avaliando os sistemas de irrigação, a partir de indicadores na busca entender a sustentabilidade dos sistemas para regiões semiáridas.

Os aspectos técnicos são contemplados ao avaliar a demanda hídrica, a partir da análise hidro climática/hidro agrícola e as contas econômicas ambientais da água para compreensão do processo em sua totalidade, dando um tratamento aos dados que demonstre a possibilidade racional do uso da água na agricultura irrigada, tendo o preço, isto é, seu valor econômico como sendo um delineador na gestão democrática e eficiente do uso desses recursos, agregando especialmente a sustentabilidade dos sistemas, a partir dos aspectos sociais, ambientais, econômicos e culturais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ÁGUA E O CICLO HIDROLÓGICO

Por ser um recurso natural essencial a vida, a saúde, aos alimentos e ao desenvolvimento econômico, social e a um meio ambiente saudável, a água ocupa uma posição ímpar na história da terra, é um recurso essencial ao processo geológico, sua existência no estado líquido, sólido e gasoso no ambiente conota uma característica única da terra frente aos demais planetas do sistema solar (ENGMAN & GUERNEY, 1991).

A água é uma substância com elevada frequência no sistema atmosfera-terra é essencial a vida e exerce papel fundamental nos processos químico-físico e biológicos do planeta terra por processos de intercâmbio que se completam nas transferências de fluxos de água a partir do ciclo hidrológico.

Figura 1 – Ciclo da Água



Fonte: USGS, in usgs.gov, consultado em 27/08/2021.

O ciclo hidrológico acontece a partir da radiação solar que atinge os espelhos d'água doce, salgadas, assim como a superfície do solo umedecido e plantas, o aquecimento dessas superfícies faz com que parte da água existente sofra mudanças de estado passando do estado líquido para o gasoso, o vapor da água que atinge a atmosfera a altas altitudes na atmosfera, onde a temperatura é mais baixa o vapor d'água se condensa formando as nuvens, que à medida que ficam maiores e sofrem maiores atrações pela terra a partir da força gravitacional, caem em forma de chuva, granizo ou neve, (TALLES, 2012).

A chuva é precipitada na forma líquida, ocorrendo em média de $3,5 \times 10^5 \text{ km}^3$ ao ano. O granizo precipita em forma de gelo, geralmente em regiões baixas de zero atingidos pelas gotas de chuva que se solidificam; a neve precipita-se em forma de cristais formadas a baixa temperatura por sublimação a partir do vapor de água (ALMEIDA, 2010).

Ao atingir a superfície da terra, a água sob a forma de chuva se infiltra, circulando pelo interior da terra, constituindo as águas subterrâneas, está por sua vez aflora na superfície em forma de mananciais, fontes ou poços; outra parte da água das chuvas corre pela superfície em forma de água corrente que formam os rios, lagos, açudes etc. naturais e/ou artificiais, ambas as águas (subterrâneas e superficiais) acabam indo para o mar e que em qualquer caso os raios solares aquecem essa água que evapora e voltam a atmosfera completando o ciclo.

Comparando o processo de circulação da água, existe os subciclos dentro do ciclo hidrológico que são os biológicos o que se removem sobre a terra na ordem de $6,5 \times 10^{11} \text{ t}$ anualmente, como resultado da função da clorofila das plantas (fotossíntese) e dos organismos marinhos (AMEIDA, 2010).

O ciclo hidrológico e os subciclos promovem a revitalização do volume de água no planeta terra, considerando o ciclo e o processo de ciclagem desse recurso na hidrosfera global, assim como sua taxa de renovação, que grosso modo seria a representação do tempo necessário para a revitalização do volume de água de um compartimento através do ciclo hidrológico (LVOITCH, 1988), ver tabela 1.

Tabela 1 – volume global da água e fluxos do ciclo hidrológico global

Volume de Água	Volume de água (10 ³ KM ³)	Volume total (%)	Taxa de remoção (ano)
Oceanos no mundo	1.370.323,0	93,9600	3.000
Águas subterrâneas	60.000,0	4,1200	5.000*
(incluindo às águas da zona de mudanças da água ativa)	(4.000,0)	(0,2700)	(330)**
Glaciais	24.000,0	1,6500	8.000
Lagos	280,0	0,0190	7
Umidade do Solo	85,0	0,0060	1
Vapores na atmosfera	14,0	0,0010	0,027
Águas fluviais	1,2	0,0001	0,031
Σtotal	1.454.703,2	100.0000	2.800

Fonte: adaptado de ENGMAN & GURNEY (1991); LVOVITCH (1988) e ALMEIDA (2010).

*incluindo o escoamento subterrâneo aos oceanos que não se canalizam nos rios -4.200 anos.

**Incluindo o escoamento subterrâneo aos oceanos que não se canalizam nos rios – 280 anos.

O tempo de revitalização do corpo d'água depende do espaço físico em que esta encontra-se, considerando que o processo é contínuo e não diferencia naturalmente o espaço momentâneo, qualquer mudança em qualquer espaço influencia o tempo e as condições dos demais espaços, isto é, se houver mudanças significativas na reposição da umidade do solo, que relativamente depende de um período curto de tempo para se repor, todos os demais espaços estarão sendo influenciados por esse movimento, de modo que não importa onde ocorre a mudança mas os efeitos que essa provoca no equilíbrio do ciclo hidrológico natural.

Para manter o equilíbrio no ciclo hidrológico, é essencial que as taxas de renovação das águas em seus espaços físicos momentâneos estejam em parcimônia com as demais condições naturais do ecossistema como um todo, visto que os fatores bióticos e abióticos do globo determinam o ciclo hidrológico, pois são fenômenos que caminham juntos, são dependentes das condições nas quais a natureza os impõe, de modo que as águas da hidrosfera global e suas taxas de renovação estão diretamente ligados a fatores de equilíbrio entre eles próprios e os demais elementos da natureza.

2.2. ÁGUA PARA AGRICULTURA

Como é um elemento constituinte dos seres vivos, a água também é parte constituinte das plantas, agindo de forma isolada ou combinada a outros elementos existentes no solo ou no ar, serve de veículo para a nutrição das plantas, e estas por sua vez servindo a humanidade, que tem tido um crescimento demográfico exponencial.

Com o contínuo crescimento demográfico a capacidade produtiva da terra fica comprometida no que diz respeito a produção de alimentos para atender a população, pois esta cresce em progressão geométrica enquanto a produção de alimentos cresce em progressão aritmética (MALTHUS, 2017); o que provoca uma queda na produtividade dos solos, e, os quando todos os solos de primeira qualidade estão ocupados os de qualidade inferior passam a serem cultivados (RICARDO, 1817/1996).

A produção de alimentos em princípio utiliza-se de terras úmidas e semiúmidas, mas com a necessidade de cultivar áreas cada vez maiores, as áreas úmidas e semiúmidas logo são ocupadas em sua totalidade, levando a humanidade a produzir em terras de qualidade inferior, fator que leva a utilização da irrigação (ALMEIDA, 2010).

A produção em terras menos férteis, situadas em regiões áridas e semiáridas dependem de um abastecimento adequado de água em quantidade e qualidade com fácil disponibilidade para atender as necessidades das cultivares a partir da irrigação, esse processo sendo executado com eficiência espera-se que supra as necessidades em alimentos a ser demandada nas próximas décadas, o principal desafio para a agricultura irrigada é produzir mais alimentos em função de uma melhor transformação da água utilizada (DUCHIN & LÓPEZ-MORALES, 2012).

Uma das maneiras de enfrentamento ao desafio do aproveitamento eficiente da água apta a irrigação está vinculada em reduzir a quantidade de água utilizada, assim como utilizar a fração de água desviada uma vez que aproximadamente a metade da água aplicada a irrigação acaba não sendo consumida pelo cultivo, sendo, portanto, desviadas em forma de drenagem (HIL, 1994; FREDERIKSEN, 1992).

A utilização das águas de drenagem é possível quando misturada com quantidades disponíveis de água para irrigação inclusas nestas perdas operacionais, trata final dos canais de tratamento de águas depuradas e águas de despejos domésticos e industriais, pode se considerar nesse processo também o acesso capilar da água subterrânea, isto também posto

pelo fato que a água de drenagem oriundas de áreas úmidas alimentado pelas chuvas é geralmente de boa qualidade.

A análise da água para ser utilizada na agricultura irrigada datam de tempos remotos, no entanto, definir uma água favorável ou não para uso na agricultura irrigada não está unicamente ligada as condições químicas que apresenta no momento da análise, mas também está vinculada as características físico-química, dos solos em que será aplicado, de forma igual modo da sustentabilidade e resistência das cultivares a serem irrigadas (FRANZLUEBBERS, 2021).

Os parâmetros que devem ser considerados na avaliação da qualidade da água a ser utilizada na irrigação necessita contemplar as características físicas, químicas e biológicas que definirão sua adequação ou não para o uso na agricultura irrigada, à saber os principais componentes a contar na água para irrigação são: potencial hidrogenético (pH); condutividade elétrica (CE); total de sais dissolvidos (TDS); íons de sódio (Na^+); potássio (K^+); cálcio (Ca^{++}); magnésio (Mg^{++}); cloreto (Cl^-); sulfato (So_4^{++}); carbonato (Co_3^{-}) e bicarbonato (Hco_3^-), o íon de boro (B^+) também deve ser considerado por sua toxicidade manifesta (AMEIDA, 2010), ver tabela 2.

Tabela 2 – Análise de distribuição para avaliar a água para irrigação

Parâmetro	Símbolo	Unidade ¹	Intervalo usual na água de irrigação	Fatores de conversão
Salinidade	CEai	D ^s m ⁻¹	0-3	P0=0,36 CE
Conteúdo de Sais condutividade elétrica				(atm)(d ^s m ⁻¹)
Ou	TSD	MgL ⁻¹	0-2.000	-
Total de Sais dissolvidos				
Cationes e anions				Pe ²
Cálcio	Ca ⁺	meqL ⁻¹	0-20	20.04
Magnésio	Mg ²⁺	meqL ⁻¹	0-5	12.16
Sódio	Na ⁺	meqL ⁻¹	0-40	22.99
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	meqL ⁻¹	0-0.1	30.00
Bicarbonatos	HCO ₃	meqL ⁻¹	0-10	61.02
Cloretos	Cl ⁻	meqL ⁻¹	0-30	35.45
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meqL ⁻¹	0-20	48.03
Nutrientes ³				
Nitrato-Nitrogênio	NO ₃ ⁻ - N	mgL ⁻¹	0-10	62.00
Amoníaco-Nitrogênio	NH ₄ ⁺ - N	mgL ⁻¹	0-5	18.04
Fosfato-Fósforo	PO ₄ ³⁻ - P	mgL ⁻¹	0-2	31.66
Potássio	K ⁺	mgL ⁻¹	0-2	39.10
Vários				
Boro	B ³⁺	mgL ⁻¹	0-2	3,60
Acidez ou alcalinidade	pH	-	6-8,5	-
Razão de adsorção de sódio	RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	0,15	-

Fonte: adaptado de Ayres & Westcot (1976 e 1991), Aragués et. al (1979) e Almeida (2010).

PO = Pressão Osmótica

- (1) dSm = deciSiemes por metro em unidade do sistema internacional (SI) ($1 \text{mmho Cm}^{-1} = 1 \text{dSm}^{-1}$)
 $\text{mg}^{\text{L}^{-1}}$ = miligrama por litro = partes por milhão (ppm)
 $\text{meq}^{\text{L}^{-1}}$ = mili equivalente por litro ($\text{meq}^{\text{L}^{-1}} \times \text{Pe} = \text{meq}^{\text{L}^{-1}}$) em unidade do sistema internacional (SI),
 1 $\text{meq}^{\text{L}^{-1}}$ corrigido segundo a carga elétrica.
- (2) Pe = peso equivalente = peso atômico / Valencia
- (3) $\text{NO}_3^- - \text{N}$ significa que o laboratório deverá determinar NO_3^- e expressá-lo em termos de equivalência química de N. da mesma forma para o $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, o laboratório determinará NH_4^+ porém expressará em termos de equivalência químicas de N elementar. O nitrogênio total disponível para as plantas será a soma de equivalência de nitrogênio. O mesmo método deverá ser utilizado para o fósforo.

A crescente demanda por água para irrigação em função da necessidade de aumentar a produção de alimentos tende a escassez desse recurso, não apenas pela exaustão, mas também pela inadequação, isto posto a partir do processo de contaminação das águas e do solo, por metais e/ou substâncias que em excesso tornam-se nocivas as plantas e, portanto, inadequadas para irrigação.

Pelo exposto, analisar as condições em que a água está antes de utilizar é essencial, assim sendo, a avaliação de salinidade verifica o risco de que a água ocasione altas concentrações de sais com correspondente efeito osmótico, diminuindo os rendimentos do cultivo; a avaliação de toxicidade estuda os problemas que podem criar determinados íons acumuladores nas plantas, provocando problemas nas gerações presentes (F1) ou nas suas descendentes (F2; F3 ... Fn).

Outros critérios de qualidade da água devem ser considerados, para que o sistema seja eficiente no uso dos recursos, em irrigação por gotejamento ou localizada por exemplo o risco de entupimento de canos é considerável, em outras situações é interessante avaliar os desequilíbrios nutricionais que podem ocorrer por excesso de nitrogênio ou pelo desbalanço de elementos no solo, por processos biológicos ou não, mas que devem ser observados para que a água possa ser utilizada de forma equilibrada.

Para Alfaia (2006):

O nitrogênio encontra-se no solo essencialmente na forma orgânica (aproximadamente 98%). A outra pequena parte encontra-se nas formas minerais de amônia, nitrato e nitrito (...). A mineralização é a transformação biológica do nitrogênio orgânico do solo em nitrogênio inorgânico (...).

Além dos elementos acima mencionados, outros são comuns nas águas especialmente em águas de irrigação que naturalmente tem um conteúdo de maior ou menor

sais solúveis, ainda que as águas naturais não contenham sais suficientes para ocasionar danos imediatos aos cultivos necessitam serem analisadas para garantirem a eficiência de seu uso e bons resultados dos cultivos.

2.3. TIPOS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A água é um recurso natural indispensável no processo de desenvolvimento ao mesmo tempo em que é recurso limitante do processo de desenvolvimento, fator que o leva a categoria de importância crucial a sustentabilidade (BRADEN, FENG & WON, 2011).

Para que o processo de desenvolvimento seja sustentável é necessário que se tenha clareza nos elementos constituintes dos recursos para então tomar decisões quanto ao uso, descarte e reutilização do recurso, no caso da água é essencial que se tenha conhecimentos de seus tipos e suas utilizações no intuito de tornar claro a tomada de decisões quanto a seus usos, de modo que pode-se classificar a água da seguinte forma, a partir de sua tipologia tem-se água salgada, representada principalmente pela água do mar, rica em sais dissolvidos, principalmente cloreto de sódio, não é própria para o consumo humano e representa 97,5% de toda a água do planeta (ARA, 2007)

A água doce possui baixo teor de cloreto de sódio, compõem riachos, lagos e rios é adequada ao consumo humano desde que passe por um tratamento. A água salobra é uma água intermediária entre a água salgada e a água doce, encontra-se próxima de áreas onde os rios encontram os oceanos, não pode ser consumida pelos seres humanos dada a quantidade de sal, a água salobra pode ter aparência turva.

Água potável geralmente é a água doce que passou por um tratamento, é a água destinada ao consumo humano; a água mineral encontra-se em fontes naturais subterrâneas ou superficiais, em sua grande maioria é própria para o consumo humano. A água destilada é produzida em laboratório ou indústria por um processo de destilação, com o objetivo de se ter uma água com alta concentração de hidrogênio e oxigênio (BRADEN, FENG & WON, 2011).

A água deionizada é uma água que foi removido os Íons por processo laboratorial, é usada na indústria farmacêutica, eletrônica, alimentar etc. a água poluída apresenta modificações em suas características físicas e químicas, com alterações de cor, odor e sabor. A água contaminada pode receber esgotos e dejetos químicos que prejudicam a saúde

humana, outras formas de vida também são prejudicadas em ambientes com água contaminada.

Toda a água é oriunda das chuvas e, para a utilização na agricultura pode se utilizar águas superficiais, subterrâneas e residuárias, e, como são oriundas das chuvas no processo de escoamento ou filtragem incorporam substâncias do solo por onde passam ou pelas atividades humanas, agrícolas e industriais, as águas superficiais continentais apresentam características diversas, dependendo de sua procedência e do grau de contaminação essas tornam-se impróprias para irrigação.

As águas superficiais continentais são procedentes de rios, lagos, barragens, córregos etc., e, são as dos rios as mais utilizadas na irrigação, seguida pelas águas de barragens, as demais são usadas em menor escala; além da importância para a irrigação, os rios exercem importante ação no transporte e na própria constituição da sociedade além de ações físicas ao meio ambiente como erosão, transporte de nutrientes e sedimentos oriundos da ação humana, da própria agricultura e da atividade industrial, esses materiais são incorporados que as águas percorrem a superfície ou filtram para os lençóis freáticos e entram em contato com essas substâncias.

Almeida (2010, p.3):

Os rios percorrem a superfície da terra exercendo uma ação importante de erosão, transporte e sedimentação de materiais, incorporados a seu leito, águas procedentes de drenagens naturais, águas de infiltração e drenagem de terras irrigadas e despejos de restos procedentes das atividades humanas, agrícolas e industriais.

Essas substâncias tendem a contaminar os rios e tornar suas águas impróprias a medida que o percurso desses aumentam, e se o ciclo natural de um rio for modificado por construção de represa, captação de água ou drenagem, os problemas da contaminação piora ocasionando o aumento de certos contaminantes, (JUNIOR et. al. 2020).

O problema torna-se mais grave se houver intervenção humana e ocorra diminuição da vazão, aumento das águas paradas, redução da velocidade, aumento do depósito de sedimentos etc. nesse processo os sais tornam-se inadequados ao uso da água para irrigação e, assim fica cada vez mais sensível a questão da água para uso na agricultura irrigada.

De qualquer modo, a água segue classificação específica para seu uso, no que diz respeito às características ambientais em que estão inseridos os corpos d'água para que possam ser classificados a partir de suas características e padrões em que possam serem lançados seus efluentes (CONAMA,2005), assim sendo, a quadro 1 abaixo está descrito a

classificação das águas superficiais segundo seus usos da Classe 1 (mais nobres) até a Classe 4 (menos nobre).

Quadro 1 – Classificação das águas doces, salobras e salinas no Brasil feita pelo CONAMA

ÁGUAS DOCES	
Classe Especial destinadas a:	
A	Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção;
B	Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
Classe 1 – águas destinadas a:	
A1	Abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
B1	Proteção das comunidades aquáticas;
C1	Recreação de contato primário “natação, esqui aquático e mergulho”;
D1	Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolve rente ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
E1	Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana;
Classe 2 – águas destinadas a:	
A2	Abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
B2	Proteção das comunidades aquáticas;
C2	Recreação de contato primário “esqui aquático, natação e mergulho”;
D2	Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
E2	Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana;
Classe 3 – águas destinadas a:	
A3	Abastecimento doméstico após tratamento convencional;
B3	Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
C3	Dessedentação de animais.
Classe 4 – águas destinadas a:	
A4	Navegação;
B4	Harmonia paisagista;
C4	Usos menos exigentes.
ÁGUAS SALINAS	
Classe 5 – águas destinadas a:	
A5	Recreação de contato primário;
B5	Proteção das comunidades aquáticas;
C5	Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Classe 6 – águas destinadas a:	
A6	Navegação comercial;
B6	Harmonia paisagista;
C6	Recreação de contato secundário.
ÁGUAS SALOBRAS	
Classe 7 – águas destinadas a:	
A7	Recreação de contato primário;
B7	Proteção das comunidades aquáticas;
C7	Criação animal e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana;
Classe 8 – águas destinadas a:	
A8	Navegação comercial;
B8	Harmonia paisagista;
C8	Recreação de contato secundário.

Fonte: adaptado de (BOSSOI e GUAZELLI, 2014)

De acordo com o quadro acima, no que diz respeito a classificação da água a parcela destinada e que pode ser usada na irrigação encontra-se na classe 1 item D1; classe 2 item D2 e classe 3 item B3; todas inseridas na categoria águas doce, assim sendo é fundamental preservar e/ou usar com eficiência para que essa possa ser usada de forma duradora.

A durabilidade no uso da água independente da atividade está na consciência dos usuários e na eficiência das políticas públicas voltadas para esse fim e, a eficiência de ambos apenas torna-se possível mediante o conhecimento, assim como o entendimento de manter em equilíbrio os recursos naturais e, em se tratando da água entender inclusive suas particularidades, isto posto pela necessidade de compreensão dos cursos dos rios, dos lagos e córregos a depender do meio natural e/ou artificial naturalizado que esteja inserido.

A compreensão do curso dos rios e por onde percorrem permite entender que o fato de um trecho de um rio está inserido em uma determinada classe, não significa dizer que todo o rio esteja que esse seja o nível de qualidade que representa, mas, sobretudo a que se pretende alcançar e/ou manter ao longo do tempo.

2.4. SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Em várias regiões do mundo, a produção de alimentos tem sido prejudicada pela escassez hídrica e pelo aumento da demanda por alimentos (RODRIGUES, 2020); aparentemente a quantidade de água doce renovável anualmente no mundo é maior do que a quantidade de água necessária para sustentar a demanda dos três usos consultivos de água (abastecimento doméstico da população, produção industrial e produção agrícola irrigada); o Brasil detém cerca de 12% da água doce superficial no planeta e 28% da disponibilidade nas américas (RODRIGUES, 2020).

A agricultura utiliza em média cerca de 70% das águas retiradas e 82% nos países em desenvolvimento (RODRIGUES, 2020); do montante utilizado pela agricultura, a irrigação é a principal usuária no Brasil, a percentagem média de água retirada pela irrigação em relação ao total retirado representa cerca de 54%, o abastecimento humano 25%, a indústria 17%. A vazão retirada considerada representa menos de 1% do total mundial (RODRIGUES, 2020); como uma demanda por alimentos que aumenta diariamente, e considerando as condições naturais, a irrigação é uma alternativa a produção de alimentos para atender a demanda crescente.

A irrigação é uma técnica milenar de aplicação de água ao solo, em complementação a água da chuva com o objetivo de garantir a umidade necessária para uma determinada cultura. Os benefícios que a irrigação traz podem se tornarem prejuízos se o método escolhido não for adequado a região de destino.

Os métodos mais utilizados para a realização da irrigação são superficiais, aspersão, localizada e subterrânea, dos dois últimos apresentam características semelhantes, serem de alta eficiência no uso da água e, portanto, excelentes para serem usados em regiões semiáridas, pois reduzem consideravelmente a quantidade de água em comparação aos outros e, desse modo tende a eficiência no uso da água para irrigação.

A irrigação objetiva satisfazer as necessidades hídricas das plantas, aplicando a água uniformemente e de forma eficiente, ou seja, que a maior quantidade de água aplicada seja armazenada na zona radicular e ficando à disposição da cultura (CARVALHO, 2013), para ser eficiente, do ponto de vista não apenas do uso da água, mas também da sustentabilidade, a irrigação não deve alterar as condições físicas e químicas do solo e ter interferência mínima sobre os demais fatores necessários a produção.

Para (FRIZZONE, 2017a):

A aplicação artificial de água ao solo, através de métodos capazes de atender da melhor forma possível as condições do meio físico (demanda de água pela cultura condições topográficas do terreno, capacidade de retenção de água do solo (...)) e aos objetivos desejados (maximizar a produtividade, maximizar o lucro (...)) com mínima degradação ambiental.

Para que essa aplicação artificial de água ao solo seja possível, é necessário o uso de sistemas de irrigação, que se baseiam no conjunto de equipamentos, acessórios e manejo que de forma planejada, realizará o ato de irrigar a planta.

Os sistemas de irrigação compreendem todo o processo necessário para que a irrigação aconteça, compreende os equipamentos e acessórios e a forma como acontece (método), estes por sua vez apresentam-se em subsistemas a saber: irrigação superficial que pode ser por sulcos ou inundação; irrigação por aspersão que pode ser convencional ou mecanizada; irrigação localizada que pode ser realizada por gotejamento ou microaspersão e subterrânea que pode ser realizada por levantamento dos lençóis freáticos ou gotejamento superficial.

No método superficial à água é aplicada na superfície do solo por ação a gravidade e se infiltra no solo, pode ser aplicado por sulcos onde a água escoar e infiltra-se no solo por pequenos canais abertos construídos na superfície do solo acompanhando as linhas da cultura e por inundação onde a água é distribuída por toda a área plantada é aplicada em faixas e tabuleiros de forma contínua e/ou intermitente limitado por diques.

No método por aspersão a água é distribuída de forma uniforme sobre a cultura ou superfície do solo em forma de gotas imitando a chuva, quando é usada de forma convencional são utilizados no processo motores, bombas, tubulações e aspersores, quando

é mecanizada os aspersores são montados em estruturas que se movem ao longo de uma determinada área para realizar a irrigação.

A irrigação localizada ocorre quando aplica-se a água em uma determinada área sobre o solo, irrigando apenas o sistema radicular da planta, é um sistema que apresenta alta eficiência no uso da água para irrigação, com economia em mão de obra, eficiência no controle de pragas e se adapta a diferentes tipos de solos e topografias, pode ser realizada por microaspersão, utilizando microaspersores que aplicam a água na forma de jato ou aerosol, no geral na área sombreada pelas copas das plantas e, ainda pode ser utilizada o gotejamento onde a água é aplicada sobre o solo na forma de gotas com baixa vazão em uma fração do solo explorada pelas raízes das plantas, mostra-se altamente eficiente no uso da água para irrigação.

Na irrigação subterrânea, a água é aplicada abaixo da superfície do solo em contato direto com as raízes no solo, pode ser realizada por gotejamento subsuperficial, nesse caso as linhas de gotejamento são enterradas onde podem atingir as raízes com mais facilidade e, elevação dos lençóis freáticos, nesse caso eleva-se o nível freático a partir do uso de estruturas de drenagem ou de linhas de irrigação enterradas, permitindo saturar o perfil do solo e controlar a profundidade do nível freático deixando-o próximo das raízes das plantas.

A escolha do sistema deve ser realizada levando em consideração condições técnicas que atendam as necessidades das culturas, bem como uma utilização eficiente de seus recursos naturais, econômicos e sociais (TESTEZLAF, 2017), sistemas mal dimensionados ou mal elaborados, como por exemplo a drenagem que quando inadequada para o tipo de solo e topografia, causa impactos ambientais, que a depender do grau são irreversíveis.

Não existe método ou sistema ideais de irrigação, os métodos e sistemas podem ou não serem adotados para uma dada situação isso pode variar de acordo com características específicas de cada área como clima, topografia, disponibilidade de água, dentre outros aspectos naturais, sociais e econômicos (ZANINI et. al. 1998).

2.5. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E O USO DA ÁGUA

Mediante as condições de desenvolvimento que se formulou em meadas do século XX, o desenvolvimento sustentável tem sido muito discutido no meio acadêmico, assim como em conferências nacionais e internacionais, a exemplo da Rio+20 que buscou avaliar

a evolução das práticas sustentáveis estabelecidas desde a Agenda 21 discutida na Conferência Mundial Rio 92.

A estratégia Nacional de Desenvolvimento Regional Sustentável (DRS) alinha-se as políticas e estratégias de instituições financeiras como Banco do Brasil, Banco do Nordeste, BNDES, que buscam promover a geração de trabalho e renda de forma sustentável, inclusiva e participativa, considerando as características locais de natureza econômica, social, ambiental, institucional, política e cultural (BB, 2021), mensuradas a partir de indicadores de sustentabilidade.

A Agenda 21 ressalta a necessidade de desenvolvimento a partir de indicadores mensurados pelas nações e órgãos internacionais o desenvolvimento sustentável que de acordo com a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, *“é preciso elaborar indicadores de desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para adotar decisões em todos os níveis e que contribuam a uma sustentabilidade autorregulada dos sistemas integrados do meio ambiente e do desenvolvimento”* (ONU, 1992, cap. 40, p.1).

De igual modo, International Institute For Sustainable Development IISD (1992, p.7) *“(...) um dos obstáculos na busca da sustentabilidade tem sido a falta de indicadores significativos para informar-nos onde estamos agora, de que modo estamos nos movendo e quão rápido estamos progredindo”*. Pois métodos tradicionais de medição do desenvolvimento das nações como o Produto Interno Bruto (PIB) não leva em conta os impactos sociais e ambientais que não tenham consequências monetárias diretas, (IISD, 2021).

A estratégia de Desenvolvimento Regional Sustentável - DRS na visão de Dahl (1997), prever que a sociedade deve ter uma visão articulada de desenvolvimento e estabelecer seus objetivos, para que depois possa medir o quanto eles estão sendo alcançados, (SACHS, 2007), discute que o desenvolvimento sustentável é necessário para que as gerações presentes e as gerações futuras tenham os mesmos direitos de usufruto dos bens e serviços ambientais.

Considerando sustentável uma atividade que minimizem riscos e promovam ganhos em escala, sem agredir ao meio ambiente ou agredindo o mínimo possível, que seja calcada na responsabilidade social e economicamente viável é o pressuposto natural para o desenvolvimento de uma região na perspectiva da sustentabilidade, entendendo desenvolvimento de forma ampla, como um processo amplo no sentido descrito no Relatório

sobre o desenvolvimento mundial de 1992 do Banco Mundial, Desenvolvimento e Meio Ambiente (CLÓVIS CAVALCANTE, 1999; BANCO MUNDIAL, 2021); onde a relação entre a economia e o meio ambiente está em evidencia, isto posto que a economia é um subsistema do meio ambiente.

A economia e o meio ambiente necessitam caminharem juntas e não em mãos opostas, visto que a primeira apenas desenvolve-se mediante os recursos da natureza, de sorte que desde o Relatório Nosso Futuro comum de 1987; a partir do qual, pelas características de valoração do meio ambiente fica claro que a natureza sustenta a economia fisicamente pela geração dos insumos de baixa entropia de que ela necessita e pela absorção do lixo de alta entropia que ela não consegue evitar de gerar, de igual modo fornece outros serviços ambientais sistêmicos, (BANCO MUNIDAL, 2021).

Pelo exposto acima, assim como por uma visão superficial do Relatório Nosso Futuro Comum (Relatório *Blundtland*), pode se entender que o desenvolvimento ambientalmente sustentável poderia ser então definido como desenvolvimento que não destrói as funções naturais de suporte a vida que a natureza fornece a sociedade e que esta utiliza para a produção de bens econômicos.

De modo que a princípio é o Relatório Nosso Futuro Comum quem torna público e evidente os termos para a construção do entendimento o que venha a ser desenvolvimento sustentável, definido a partir do entendimento de que garantam possibilidades de se obter continuamente condições iguais ou superiores de vida em dado ecossistema, dando condições de manutenção do sistema de suporte da vida (MARTINS e CANDIDO, 2012).

A sustentabilidade tem relação direta com a melhor qualidade de vida das populações, considerando a capacidade de suporte dos ecossistemas, (FRANCO, 2000); como o entendimento para o termo é complexo, perpassando pelas interações entre os sistemas humanos e ambientais, as opiniões e valores sobre desenvolvimento sustentável seja amplo e multidisciplinar e, carregado de sentimentos que torna difícil sua aplicabilidade, (MARTINS e CADIDO, 2012; WORLD BANK, 2021), dificultando o alcance de resultados que sejam realmente sustentáveis do ponto de vista social, ambiental, demográfico, político, econômico cultural e institucional, fator que torna imprescindível compreender o desenvolvimento a partir do reconhecimento das interligações dos sistemas.

Estando interligados, os sistemas exercem influências uns aos outros, e assim sendo, cada sistema exige interferência diferenciadas a depender dos níveis de evolução em que se encontram; de modo que o desenvolvimento sustentável exige posturas diferenciadas

conforme as peculiaridades de cada um, considerando as ações antrópicas sobre os ecossistemas uma relação amena a depender do maior ou menor grau de evolução desses o que determina o nível de adequação.

O grau de interligações que exige o sistema, apenas será possível de ser identificado a partir de um sistema de mensuração eficaz o que torna decisivo a compreensão da sustentabilidade e a operacionalização de seus conceitos (AGENDA, 2030); a mensuração quando bem feita apoia as decisões políticas para o desenvolvimento sustentável e oferece elementos concretos para apoio a decisão, possibilitando que as decisões políticas movam-se para a sustentabilidade com conexões entre o atual estágio de sustentabilidade e o estágio futuro (AGENDA 2030).

A mensuração devem ser entendidas a partir de indicadores sendo estes variáveis de representação operacional com atributo de qualidade, características e propriedades dos sistemas com objetivos de agregação e quantificação de informações melhorando o processo de comunicação entre os elementos naturais e sociais, dada a complexidade e a interdisciplinaridade (MARTINS e CANDIDO, 2012), a análise dos indicadores devem parti de sistemas que possibilitem verificar a interdependência das variáveis gerando assim resultados de um grau satisfatório de confiabilidade e que seja o mais próximo possível da realidade.

2.6. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E O USO DA ÁGUA

As ideias de desenvolvimento pós Relatório *Blundland* (1987); caminha ao logo dos anos para um pensamento de sustentabilidade onde a mensuração torna-se indispensável; uma nova abordagem do desenvolvimento que busca a necessidade da incorporação de um conjunto de dimensões e indicadores capazes de compreender de forma sistêmica o processo de construção do desenvolvimento incorporando os aspectos sociais, econômicos, políticos, institucionais, ambientais, demográficos, culturais etc. (MARTINS e CANDIDO, 2012); que seja capaz de mensurar o bem-estar.

Para se fazer entender, é necessário que o conceito de indicadores esteja claro para tomadores de decisão, o conceito mais aceito entre os pesquisadores da área para indicadores é que um indicador é uma medida que resume informações importantes sobre determinado fenômeno. A ideia é que aquilo que esteja sendo efetivamente medido tenha significado

maior do que simplesmente o valor associado a essa medição, sempre dentro da proposta do uso do indicador na tomada de decisão.

Como exemplo pode ser tomar a medida de um reservatório de água que pode ter relação com a produção de alimentos, disponibilidade de água para irrigação, abastecimento de água para determinada comunidade, capacidade de produção de energia, proteção de áreas contra inundações, tamanho da modificação ambiental, entre outros aspectos.

A escolha do indicador está diretamente ligada à decisão de avaliação pelo pesquisador, indicadores como PIB – Produto Interno Bruto; IDH – Índice de Desenvolvimento Humano; ISEW – Index of Sustainable Economic Welfare, substituído mais tarde pelo GPI – Genuine Progress Indicator apesar de úteis e serem utilizados há tempos pelos tomadores de decisão, não capazes de medir, de forma isolada, saúde e qualidade de vida da população, sendo portanto, inviáveis como medida comparativa de desenvolvimento isolado, (BOSSOI, et. al., 2014).

Caminhando por esse mesmo pensamento, a *Ecological Foot print* (PE), é tido como um excelente indicador agregado, uma vez que consegue medir o impacto das atividades econômicas sobre o meio ambiente, no entanto, não consegue expressar as questões sociais do desenvolvimento, a Pegada Ecológica (PE) busca medir o total de terra necessária para manter a demanda de alimentos, água, energia, resíduos por pessoa, por produto, por região.

Os indicadores desenvolvidos pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (CDS) são ricos em quantidade de itens descritos, mas apresentam problemas na metodologia que não considerou a viabilidade de todo o sistema, deixando alguns pontos sem a devida cobertura e outros com excesso de cobertura (BOSSSEL, 1999).

Os modelos de Pressão Estado e Resposta (PER) e de Pressão, Estado Resposta e Impacto (PEIR), assemelham-se aos descritos acima no que diz respeito ao não atendimento a toda a dinâmica e sistemas dos processos, havendo confusão em certos casos dos aspectos de pressão com os aspectos de estado, e/ou pressão e impactos múltiplos não eram contemplados, (BOSSSEL, 1999), para evitar esses problemas, o autor aconselha que primeiro se identifique os subsistemas de maior relevância dentro do sistema social, incluindo nesses os sistemas constitutivos e os sistemas dos quais a sociedade depende, para então se traçar os indicadores que mensurarão a sustentabilidade incorrendo em erro mínimo de deixar algum indexador sem ser considerado.

Ainda tem-se os sistemas Dashboard of Sustainability (DS) desenvolvido pelo instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável denominado painel da

sustentabilidade; o Barometer of Sustainability, (BS) desenvolvido por especialistas diversos ligados ao Instituto World Conservation Union (IUCN) e ao international Development Research Center (IDRC) e, o Monitoring environmental progress (MEP) desenvolvido pelo World Bank, é de fundamental importância mencionar que para cada sistema existem subsistemas que necessitam serem considerados ao decidir pelo indicador.

Dentro dos subsistemas, podem ser listados alguns dos quais se pode lançar mão para a promoção da mensuração da sustentabilidade, subsistemas como o potencial individual, o potencial social, potencial organizacional, potencial de infraestrutura, potencial produtivo e potencial natural, são subsistemas que estão inseridos nos sistemas e que necessitam serem considerados no processo de montagem dos indicadores de desenvolvimento sustentável (BOSSSEL, 1999).

A necessidade de considerar os subsistemas dentro dos sistemas para então iniciar o processo de mensuração da sustentabilidade, toma por base as possíveis divergências dentro do próprio conceito de desenvolvimento, pois dentre esses necessita-se decidir o que deve ser sustentado, o que deve ser desenvolvido, a extensão do futuro a ser considerada, além de assegurar e manter o crescimento econômico e o desenvolvimento, respeitando os limites estabelecidos pela natureza, (GREGOLIN, et. al. 2019).

Desse modo, e pelas próprias características do desenvolvimento sustentável deve ser pensado sistematicamente, de forma coletiva e participativa, com geração de efeitos significativos promovendo a sustentabilidade (RUTHES e NASCIMENTO, 2006); já que seu próprio termo é claramente carregado de valores com uma forte relação entre os princípios, a ética, as crenças e os valores que dão sustentação a uma determinada localidade social, ou comunidade e sua percepção de sustentabilidade (LAFER, 1996; GREGOLIN, et. al. 2019).

Pela própria complexidade do termo que norteia o desenvolvimento sustentável, é necessário para melhor elucidar o termo, encontrar indicadores que captem todos os aspectos que considerem relevantes para o processo de desenvolvimento em bases sustentáveis e descreva de forma compreensiva uma realidade mutável dinâmica e diversa, além de evidenciar aspectos que revelam tendências e/ou perspectivas futuras (MARTINS e CANDIDO, 2010; DUCHIN & LOPEZ-MORALES, 2012).

Para o trabalho com indicadores, os dados são componentes básicos e, indicadores os quais são derivados dos dados, como ferramenta analítica par o estudo de mudanças na sociedade (SEGNESTAN, 2002); os indicadores como ferramenta de comunicação são

indispensáveis para avaliar a eficácia do desenvolvimento e os princípios que esse carrega em suas particularidades, (BOSSSEL, 1999, e DAHL, 1997).

Quanto à classificação, os indicadores podem ser quantitativos e qualitativos, mesmo que em sua maioria esses são categorizados como quantitativos e, são sempre ou em sua maioria elaborados a partir de aporte legislativo, (MARTINS e CANDIDO, 2010); os indicadores qualitativos baseiam-se em uma abordagem perceptiva, de impressões e valores interpretativos, o que permite que haja uma potencialidade ainda a ser explorada, dentro de um universo de dados potenciais, estes por sua vez ao serem escolhidos são coletados e processados (dados primários), o que inclui as etapas de validação das informações coletadas e seus tratamentos estatísticos, nesse contexto de indicadores, aproximando o conhecimento da realidade.

Os dados a serem considerados dependem dos propósitos para os quais estão sendo pensados, dados como consumo de água diário, consumo de energia mensal, temperatura média, índice de pluviosidade, tipo de irrigação, moradia, propriedade ou não da terra, fonte de captação de água etc. pode constituir a base de dados para montagem e interpretação dos indicadores de sustentabilidade e, como o indicador é um instrumento para a tomada de decisão, a escolha do indicador depende primeiramente das necessidades dos usuários potenciais, isto é, parte-se de um objetivo a partir do qual se identifica a necessidade de informações, pois são os indicadores que serão norteados pelas variáveis que serão definidas a partir do que se espera desse indicador (MARTINS e CANDIDO, 2010, MEADOWS, 1998).

Para montagem dos indicadores, é necessário um modelo ou estrutura para organizar um sistema de informação para o desenvolvimento sustentável; a partir do qual realiza-se a escolha do indicador, este necessita estarem ao menos dentro de meandros das medidas básicas agregadas ao desenvolvimento, a saber, para que se essas medidas agregadas sejam eficientes a suficiência para que todos alcancem o bem estar, a eficiência com que os recursos principais se transformem em bem estar e a capacidade de suporte no uso desses recursos principais.

Os indicadores básicos de desenvolvimento sustentável deverão medir o bem estar humano, a integridade ambiental e a proporção entre as duas, que seria a medida de eficiência com que os recursos ambientais são transformados em bem esta humano resultando em capital construído – recursos intermediários, o estoque físico da capacidade produtiva de uma economia, ferramentas construídas pelo homem, máquinas fábricas, geradores etc.;

capital humano – social, objetivos intermediários, a base seria a população, sua idade, estrutura de sexo e do capital social seria o estoque de atributos inerentes aos indivíduos e a coletividade humana e por fim bem estar - objetivo principal, requer certa quantidade de elementos materiais para sustentar a vida, após esse limite uma maior riqueza não tem sido associada a maior felicidade, (DUCHIN e LOPEZ-MORALES, 2012).

Esses princípios podem orientar a construção de sistemas adequados de medição, os quais são indispensáveis para operacionalizar o conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que possibilitam aos tomadores de decisão e a sociedade estabelecer objetivos e metas, bem como avaliar o seu desempenho em relação aos próprios princípios. Os indicadores assim sendo, tornam-se extremamente necessários para a compreensão do que vem a ser a sustentabilidade, atendendo ao menos ao tripé, sociedade, economia e meio ambiente.

2.7. AVALIANDO A SUSTENTABILIDADE

Avaliar a sustentabilidade é necessário para se estabelecer estratégias que promova o desenvolvimento de forma a assegurar o uso e usufruto dos recursos naturais a geração presente e as gerações futuras, assegurando a gestão e a disponibilidade desses recursos a todos (AGENDA, 2030); em se tratando da água, Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, em seu objetivo 6, dispõem de assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos (AGENDA, 2030), e, como a avaliação da sustentabilidade necessita levar em consideração estratégias da eficiência em um processo orientador das decisões norteadoras do desenvolvimento sustentável, esta deve considerar sobretudo os preceitos da eficiência.

Uma avaliação eficaz necessita de critérios bem definidos, com um sistema de medição que possibilite uma avaliação criteriosa, em se tratando da avaliação da sustentabilidade, há a necessidade de definição de critérios que possibilite uma avaliação eficiente, pois não se pode gerenciar aquilo que não é medido, é importante, porém medir o desempenho de um determinado sistema para verificar se o mesmo está sendo alcançadas suas metas e compará-lo com outros. Essa avaliação fornece as informações necessárias para a tomada de decisão, o alcance de um padrão de referência e a promoção de melhorias contínuas (VALVEVA et. al. 2001), uma possibilidade para avaliação da sustentabilidade é realizá-la a partir dos indicadores de sustentabilidade isolados ou em modelos.

Os indicadores de sustentabilidade constituem o instrumento de avaliação da sustentabilidade mais adotado em termos práticos e teóricos, quer individualmente, quer condensados em índices ou integrados em modelos mais complexos (COSTA, 2010c), um indicador de sustentabilidade é uma medida cuja interpretação evidencia a condição de um sistema como sustentável ou não, segundo os padrões estabelecidos para o contexto analisado (MARZALL, 1999).

O índice é o resultado de uma manipulação matemática de determinados dados visando simplificá-los, podendo ser formado por vários tipos de indicadores, inclusive de diferentes temáticas (VERONA, 2010). Indicadores e índices de sustentabilidade podem contribuir nos processos decisórios que visam ao desenvolvimento sustentável, assim sendo, esses instrumentos devem permitir: mensurar de diferentes formas e compreender a complexidade dos fenômenos sociais; possibilitar a participação da sociedade no processo de definição do desenvolvimento; comunicar tendências e relacionar variáveis pois a realidade não é linear nem unidimensional (GUIMARÃES & FEICHAR, 2009).

De acordo com (SANCHE & MATOS, 2012), na década de 1990, considerando os trabalhos da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, ocorreu uma proliferação de conjuntos de indicadores de sustentabilidade da agricultura. No entanto, os desafios enfrentados na seleção e desenho dos indicadores levaram ao desenvolvimento de abordagens que permitissem guiar o processo de análise da sustentabilidade. Essas abordagens compreendem estruturas analíticas conceituais, a partir dos quais são derivados os indicadores e índices de sustentabilidade agrícola (RAO & ROGERS 2006).

Seja qual for o mecanismo de escolha para avaliação essa deve em última instância está diretamente condicionada a orientação ao desenvolvimento sustentável, com uma relação intrínseca entre sociedade e meio ambiente, com evidencia na profunda relação da qualidade de vida com a qualidade ambiental; uma explicação louvável para essa relação pode ser encontrada nos conceitos dos serviços ambientais ou serviços sistêmicos, isto é os serviços que o meio ambiente presta a sociedade quando fornece água, alimentos, recursos naturais regulação do clima entre outros.

As relações existentes entre a sociedade e o meio ambiente e, os serviços ambientais fornecidos a sociedade pela natureza, podem ser mensurados a partir da economia ecológica, que contrapõem com o modelo neoclássico (corrente dominante) em que o capitalismo exige crescimento econômico contínuo ininterrupto desconsiderando em sua maioria as condições

ambientais, enquanto a economia ecológica (corrente ainda em menor escala) defende um desenvolvimento econômico com uma relação direta entre as condições de desenvolvimento econômico, sustentabilidade e meio ambiente considerando inclusive um Steady state – Estado estacionário (VEIGA, 2010).

O Steady state ou Estado Estacionário estaria diretamente ligado a terceira via do desenvolvimento econômico, na qual o foco está na ecoeficiência ou seja crescer com proteção ambiental, essa ideia não havia sido considerada antes do Relatório Prosperity Without Growth (2009), no qual são descritos que os ganhos em eficiência não reduzem os ganhos em escala nem a pressão sobre o meio ambiente, isto posto, torna-se urgente a inserção da temática ambiental nos discursos/discussões a respeito do desenvolvimento (NOBRE e AMAZONAS, 2002).

A eficiência econômica quanto atrelada as questões ambientais e sendo acessível a toda a população promove o desenvolvimento, e, o desenvolvimento de um país, de uma região está essencialmente ligado às oportunidades que este oferece a sua população de fazer escolhas e exercer sua cidadania. E isso inclui não apenas a garantia dos direitos sociais básicos, como saúde, educação etc. como também segurança, liberdade, habitação, cultura (SEM, 1999), e, agregado a isso o respeito ao meio ambiente e ao uso eficiente de seus recursos, para que esses sejam promovedores do desenvolvimento como liberdade, liberdade inclusive na tomada de decisão pelo não uso do recurso quando a partir de uma avaliação o uso seja promovedor de privações.

O desenvolvimento requer que se removam as principais fontes de privações e liberdades, são estas: a pobreza, a tirania, a carência de oportunidades econômicas e destituição social sistemática, negligencia dos serviços públicos e a intolerância ou interferência de estados repressivos (SEM, 1999); um país ou região cuja população sofre das privações acima mencionadas, torna-se provavelmente incapaz de promover a sustentabilidade em seu desenvolvimento ao menos nos critérios do respeito ao meio ambiente, isto posto, especialmente pela incapacidade que as pessoas tem de exercerem seu poder de escolha, uma vez que são privados de suas liberdades e portanto, incapazes de promover o desenvolvimento sustentável.

No entanto, uma sociedade ciente de seus direitos e detentoras das decisões com liberdade compreende que o desenvolvimento é sustentável quando resulta de um processo de ampliação permanente das liberdades substantivas dos indivíduos (SEM, 1999), em condições que estimulem a manutenção e a regeneração dos serviços prestados pelos

ecossistemas às sociedades humanas (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

A liberdade dos indivíduos e a produção do desenvolvimento sustentável são intrinsecamente interligados, dado o poder de decisão dos indivíduos e, esse processo é orientado a partir da avaliação da sustentabilidade tendo em mente assessorar as decisões aos objetivos da sustentabilidade, se a avaliação é realizada por processos ex-ante, procura identificar futuras consequências da ação humana vinculada ao planejamento realizado com o objetivo da sustentabilidade (VALVEVA et. al., 2011).

A sustentabilidade será alcançada a partir de uma ação coordenada entre governos, empresas, academias e a sociedade civil, com isso torna-se possível alcançar os 17 Objetivos da Sustentabilidade e as 169 metas; de forma a erradicar a pobreza e promover vida digna para todos, dentro dos limites do planeta (AGENDA, 2030); a erradicação da pobreza, é a palavra da ordem para o alcance da sustentabilidade e, esse só será alcançado mediante o envolvimento, compromisso e ação de todos (PNUD-BRASIL 2018); especialmente quando todos estiverem inseridos em um processo conjunto de conscientização pelo uso racional dos recursos naturais, especialmente a água, visto que o planeta em passado por mudas que atingem diretamente o recurso água, especialmente quando essas mudanças promove secas, ou enchentes, em um ou noutro caso a água torna-se escassa.

A seca é um fenômeno sistêmico ambiental e climático, relacionado a uma redução prolongada das reservas hídricas existentes em uma regia, somando a uma precipitação abaixo da média normal, sua natureza é complexa, devido à difícil delimitação no espaço, podendo afetar desde grandes áreas em função da distribuição global de unidade até menores, e no tempo, podendo durar de meses a anos. As secas são impactantes no desenvolvimento, especialmente em regiões onde sua importância é negligenciada.

Os impactos das secas no desenvolvimento ainda são poucos reconhecidos, especialmente onde em médio e longo prazos não é considerada como impactante na vida das pessoas, principalmente na saúde, pois é de difícil mensuração principalmente em regiões onde é comumente recorrente, de modo que pensando em desenvolvimento sustentável e meio ambiente, as secas necessitam de um espaço considerável na agenda das discussões, pois ela torna a água escassa e assim sendo pode promover um retrocesso no desenvolvimento, especialmente onde esse não é entendido como resultado das liberdades substantivas (SACH, 2012).

As preocupações com escassez da água, atrelada as secas e/ou ao mal gerenciamento, são partes importantes da agenda do desenvolvimento e, estão inclusas nos objetivos do desenvolvimento sustentável especialmente na meta água, seca, desertificação e sustentabilidade, (AGENDA, 2030); nesse sentido, é necessário critérios de mensuração a sustentabilidade, visualizando especialmente os meios pelos quais o desenvolvimento tem ocorrido, de modo que é de suma importância uma avaliação precisa desse processo.

Para avaliar é de fundamental importância a compreensão da mensuração do grau de sustentabilidade dos agrossistemas para que se encontrem soluções mais adequadas aos problemas observados, o que vem sendo feito a partir de diversas abordagens vinculadas a avaliação da sustentabilidade (COSTA, 2010B, SULVARÁN RIECH & VARGAS, 2014), de sorte que as falhas no processo possam ser corrigidas a partir dessa avaliação e dos modelos de correção possivelmente propostos, considerando sobretudo os modos como o desenvolvimento se comporta, o respeito que esse garante a sociedade e ao meio ambiente.

2.8. MÉTODO IDEA

O Método IDEA (*Indicateurs de Durabilités Exploitations Agricoles* ou Indicadores de Desenvolvimento Sustentável das Explorações Agrícolas), criado em 1996 por uma equipe multidisciplinar na França, a pedido da Direção Geral de Educação e Pesquisa do Ministério da Agricultura, o Método busca avaliar e diagnosticar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, o método teve seus indicadores testados com satisfação nos aspectos da robustez, sensibilidade e relevância, entre os anos de 2003 e 2006, momento em que obteve significativas melhorias na formulação e ponderação.

O método toma por base a possibilidade de avaliar a sustentabilidade de um sistema agrícola através da quantificação de características técnicas espaciais, econômicas e humanas e de práticas favoráveis do meio biofísico e social, estruturado e baseado em três dimensões da sustentabilidade – agroambiental, socioterritorial e econômica (MASERA et. al., 2000).

As dimensões do método são divididas em 41 indicadores, cujos valores são agregados de forma hierárquica por componentes e por dimensões de forma que as dimensões são avaliadas em uma escala de 0 a 100; os índices das dimensões não são agregados e o grau de sustentabilidade é dado pelo menor índice obtido entre as três dimensões.

A abordagem nesses aspectos evita comparações entre dimensões, porém, assumem compensações entre componentes de uma mesma dimensão (ZAHN, VIAUX, VILAIN, GIRANDIN & MAUCHET, 2008), considerando o componente diversidade e está obtendo índice igual a 0 (zero), mas os outros dois componentes da dimensão agroindustrial obtiverem pontuação máxima (33 e 34 respectivamente) o índice da dimensão será 67, assim o péssimo desempenho no componente diversidade foi compensado pelo excelente desempenho nos demais componentes da dimensão agroindustrial, mesmo assim se os índices das dimensões socioterritorial e econômica forem superiores a 67 o índice geral de sustentabilidade da unidade produtiva será 67, uma vez que não há compensações entre as dimensões; ver Quadro 2 a seguir.

QUADRO 2 - Estrutura do IDEA

Dimensão	Componente	Indicadores	Peso
Agroambiental	Diversidade	Diversidade de culturas anuais e temperaturas; diversidade de culturas perenes; diversidade vegetal associada; diversidade animal; valorização e conservação do patrimônio genético.	33
	Organização do Espaço	Rotação, dimensão das parcelas, gestão da matéria orgânica, contribuição com as questões ambientais, valoração dos espaços, gestão de áreas forrageiras.	33
	Práticas Agrícolas	Fertilização, tratamento dos efluentes, pesticidas e tratamento veterinário, bem-estar animal, proteção do solo, gestão dos recursos hídricos, dependência energética.	34
	Total	19 indicadores	100
Socioterritorial	Qualidade dos produtos e do território	Abordagem da qualidade, valoração do patrimônio construído e da paisagem; tratamento dos resíduos orgânicos; disponibilidade de espaços; envolvimento social.	33
	Emprego e serviços	Aperfeiçoamento; serviços; pluriatividade; contribuição para o emprego; trabalho coletivo; perenidade provável.	33
	Ética e desenvolvimento humano	Contribuição para o equilíbrio mundial de alimentos; formação; intensidade do trabalho; qualidade de vida; isolamento; habitação; saúde e segurança.	34
	Total	16 Indicadores	100
Econômica	Viabilidade	Viabilidade econômica; taxa de especialização econômica; autonomia financeira.	30
	Independência	Sensibilidade a cotas e subsídios	25
	Transmissibilidade	Transmissibilidade econômica.	20
	Eficiência	Eficiência do processo produtivo.	25
	Total	6 indicadores	100

Adaptado de VILAIN (2008).

Os resultados obtidos com o IDEA podem ser representados em gráficos do tipo rodar ou histograma possibilitando a análise do desempenho de uma única unidade produtiva e comparações entre unidades produtivas (MASERA et. al., 2000); por estes e outros aspectos, o IDEA é considerado um dos métodos mais bem aceitos na avaliação da sustentabilidade em diversos agroecossistemas, foi um dos primeiros métodos a ser usado na Europa de forma ampla, na França país de origem possui mais de 1.500 aplicações entre 1997 e 2007 (ZOHAN et. al. 2008), apresentando os resultados de 65 aplicações com representatividade em vários sistemas de cultivo.

Os resultados apresentados pelo IDEA apoiam agricultores e formuladores de políticas públicas, isto por seu caráter científico, no sentido de promoção de uma agricultura mais sustentável, os autores formuladores do IDEA concluem que o método pode ser utilizado para comparar unidades produtivas com contextos similares, considerando tipo de produção, clima e solo.

2.9. METODO MESMIS

O método MESMIS – Marco para Evolución de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidade, criado em 1995 no México por um grupo interdisciplinar e multi-institucional, com objetivo de traduzir princípios gerais de sustentabilidade em definições operacionais, indicadores e práticas no contexto da gestão (LÓPEZ-RIDAURA, MASERA & ASTIR, 2002).

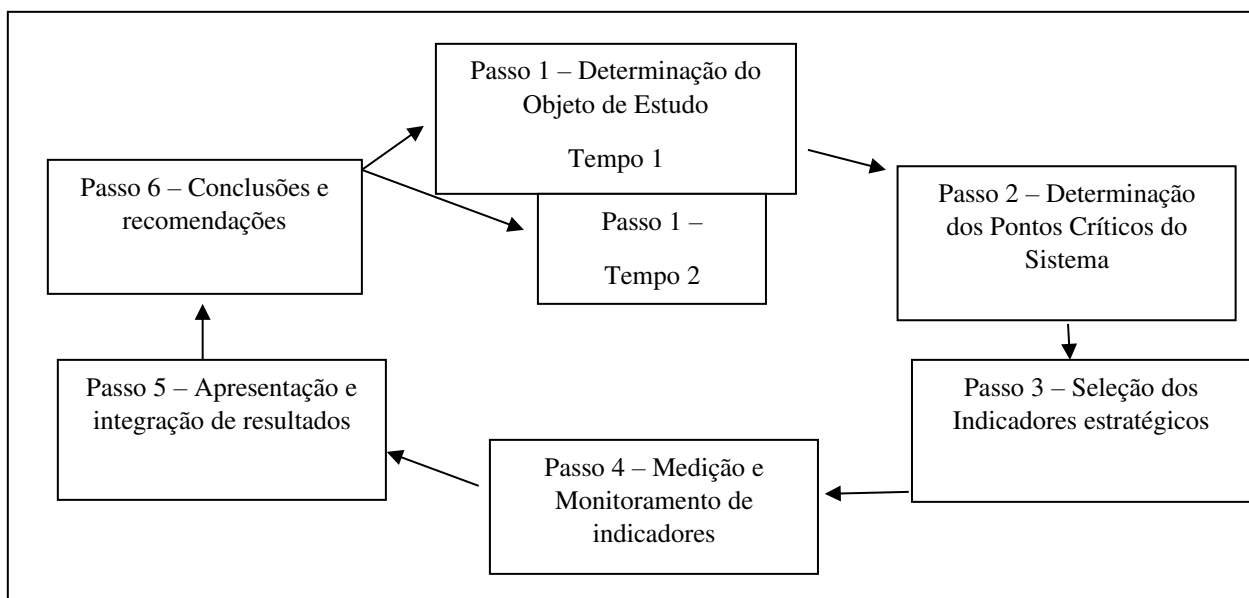
O MESMIS é um método que de forma cíclica participativa e multiescalar pretende identificar alterações antrópicas sobre os sistemas com base nos padrões da sustentabilidade, é um método aplicado em sistemas de produção agrícola, florestal e/ou pecuária, buscando identificar de forma holística, os limites e possibilidades de sustentabilidade do sistema sob as perspectivas econômicas, social e ambiental (MASERA, ASTIER & LÓPEZ-RIADURA, 2000).

O método consiste em ciclos de avaliações em seis passos, partindo da caracterização do sistema analisado, identificando os aspectos do sistema de manejo e seu contexto socioeconômico e ambiental; após essa caracterização é feita uma análise dos pontos críticos do agrossistema de forma a identificar os fatores limitantes e favoráveis à sustentabilidade.

O terceiro passo consiste em determinar critérios de diagnóstico, associado aos atributos da sustentabilidade, produtividade, estabilidade, resiliência, confiabilidade,

adaptabilidade, equidade e autogestão, após esses critérios são determinados os indicadores de sustentabilidade, o passo de número quatro, tem por referência a medição e o monitoramento dos indicadores ao longo do tempo, o quinto passo consiste na integração e apresentação dos resultados e, no sexto e último passo, são feitas as conclusões e recomendações considerados importantes para a melhoria da sustentabilidade do sistema de manejo; ao fechar o ciclo no sexto passo, se inicia outro, ao começar nova avaliação do sistema (MESMIS, 2022); Ver Figura 4.

Figura 2 - Ciclo de Avaliação do MESMIS



Fonte: MASERA, et. al. (2000), adaptado.

A sugestão a partir de Masera et. al. (2000) é que seja utilizado indicadores qualitativos e quantitativos que reflitam as dimensões ambientais, econômicas e social do agroecossistema, ver Quadro 3, no qual são elencados indicadores que podem ser aplicados no MESMIS, organizados a partir dos atributos da sustentabilidade e critérios de diagnóstico.

A integração e apresentação dos resultados do MESMIS pode ser feita a partir do uso de diagramas do tipo ameiba ou radar, possibilitando a percepção de distância em relação a um valor de referência, possibilitando uma comparação simples e compreensiva das vantagens e desvantagens do sistema avaliado (LÓPEZ-RIDAURA, MASERA & ASTIER, 2000).

No mundo todo o MESMIS tem sido usado, especialmente em sistemas de base familiar com ênfase na ecologia (VERÔNA, 2008); o maior número de casos de aplicação está concentrado na América Latina, na Espanha em Portugal e nos Estados Unidos

(ASTIER, et. al. 2012); no Brasil o MESMIS vem sendo aplicado principalmente em unidades produtivas de base familiar como exercício acadêmico, na forma de dissertações, teses e outros projetos de pesquisa e extensão.

Quadro 3 - Indicadores que podem ser adotados em aplicação do MESMIS

Atributo	Critério de diagnóstico	Indicadores	Dimensão
Produtividade	Eficiência	Rendimento, eficiência e energia,	Ambiental
		Custo, benefício, investimento, produtividade do trabalho.	Econômica
	Diversidade	Espécies manejadas; policulturas rotação	Ambiental
		Número de cultivo, grau de interação na produção e na comercialização	econômica
		Número de etnias envolvidas no manejo.	Social
	Conservação de recursos	Qualidade do solo e água; fluxo de nutrientes críticos.	Ambiental
		Capacidade de economia	Econômica
	Fragilidade do sistema	Incidência de pragas e enfermidades.	Ambiental
Tendências e variações de rendimentos.		Econômica	
	Distribuição de riscos	Acesso a créditos, seguros e outros mecanismos.	Econômica
	Qualidade de vida	Índice de qualidade de vida	Social
Adaptabilidade	Processo de aprendizagem	Capacidade e formação dos integrantes; adaptações locais ao sistema proposto	Social
	Capacidade de inovação	Evolução do número de produtores por sistemas; geração do conhecimento e práticas.	Social
Equidade	Distribuição evolução do emprego	Beneficiários por etnias, gênero e grupo social	Social
		Demanda ou jornada de trabalho	Econômica
Autogestão	Participação	Envolvimento dos participantes no projeto	Social
		Grau de dependência de insumos externos	Ambiental
	Controle	Reconhecimento dos direitos de propriedade; uso de conhecimentos locais	Social
	Organização	Poder de decisão sobre aspectos críticos do funcionamento do sistema.	Social

Fonte: Martins et. al. (2017) – adaptado.

O quadro acima possibilita uma melhor adequação nas escolhas dos indicadores a serem utilizados na aplicação do método junto aos sistemas de irrigação localizada, o sistema tradicional e o sistema sugerido por capilaridade.

A utilização de tecnologias de uso racional da água para a produção agrícola, principalmente na região semiárida brasileira é essencial para reduzir os riscos de perda de safra, promovendo o aumento na produção de alimentos e melhorando a qualidade de vida das famílias envolvidas no processo.

Os sistemas de irrigação localizada por capilaridade têm como propósito o uso eficiente da água para irrigação, especialmente na produção em hortas orgânicas por agricultores familiares de região semiárida. De qualquer modo, o uso eficiente da água reduz

riscos de perda de safra e de escassez severas de água aos agricultores familiares de região semiárida (CARAMASCHI, et. al. 2000).

Ainda assim, estudos de avaliação de eficiência de sistemas que se proponha a essa finalidade são essenciais, sobretudo para avaliar a sustentabilidade socioeconômica e ambiental de agro ecossistemas nos territórios rurais do Semiárido do Nordeste brasileiro, a fim de demonstrar a real sustentabilidade dos sistemas de irrigação localizada, mensurando adequadamente a contribuição dessa tecnologia na resiliência das famílias às diversidades do clima semiárido.

Caracterizando a área geográfica, testando os sistemas de irrigação utilizados na produção agrícola, e, por fim propondo uma metodologia de avaliação da sustentabilidade para a produção agrícola com sistemas de irrigação mediante a definição de princípios do IDEA e do MESMIS tendo por base a os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

3. METODOLOGIA

Traçado os objetivos da pesquisa, foi necessário delinear os procedimentos metodológicos a serem utilizados para alcançá-los. Desse modo, estrutura-se os elementos metodológicos utilizados na elaboração da tese, partindo do pressuposto que para a elaboração do modelo foi necessário compreender o comportamento do sistema em estudo, com informações precisas com todos os seus componentes, os dados históricos foram fundamentais para uma dinâmica dos sistemas que possibilitou incorporar informações obtidas mediante consultas aos envolvidos no fenômeno, assim como com base em outros estudos assemelhados (MINAYO, 2010).

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi conduzida pelo método indutivo, que para (MARCONE E LAKATOS, 2000), este método consiste no exercício mental, partindo da observação e análise de dados previamente constatados, para em seguida se elaborar uma verdade intrínseca as partes pesquisadas.

Quanto a sua natureza, a pesquisa apresentou-se como **pesquisa aplicada**, visando a aquisição do conhecimento para aplicação em uma situação específica, para (GIL, 2010),

são pesquisas que objetivam a aplicação, a utilização do conhecimento e resultados alcançados na pesquisa com intuito de utilizar na própria pesquisa (MICHAEL, 2009).

Em relação ao objetivo, a pesquisa caracterizou-se como **exploratória/descritiva**, que para (GIL, 2002) é uma pesquisa que objetiva tornar mais explícito as questões que permitam a familiaridade com o problema formulado, isto é, tornar as ideias mais claras e objetivas ao descobrir novas intuições sobre o processo de investigação.

A pesquisa exploratória é descrita por (MICHEL, 2009) como sendo a fase inicial, em que consiste no levantamento bibliográfico, no que se objetiva identificar e dá suporte ao tema, a construção dos objetivos, determinar o problema e, definir o que será abordado no referencial teórico.

A pesquisa descritiva para (GIL, 2002) tem como finalidade a descrição de características de uma dada população, amostra ou fenômeno, estabelecendo uma relação entre as variáveis levantadas. Para (MICHAEL, 2009, p.44), a pesquisa descritiva é uma pesquisa que “se propõem a verificar e explicar problemas, fatos ou fenômenos da vida real com precisão possível, desvendando e fazendo relações, conexões à luz da influência que o ambiente exerce sobre eles”.

No que diz respeito ao procedimento, a pesquisa caracterizou-se como sendo inicialmente **bibliográfica/documental** e, posteriormente, de **campo**, a pesquisa bibliográfica consistiu na busca por informações em materiais já publicados a respeito do problema de investigação, foram inclusos materiais impressos: livros, revistas, jornais, teses, dissertações, artigos entre outros materiais em formato digital: CDs, internet etc.

A pesquisa documental de acordo com (GIL, 2020) é o tipo de pesquisa que está presente em todas as ciências sociais e, geralmente é confundida com a pesquisa bibliográfica, uma vez que utiliza dados existentes. A principal diferença entre a pesquisa bibliográfica e a documental é a natureza dos dados analisados, a pesquisa bibliográfica é realizada com materiais elaborados por outros com objetivo de serem lidos por um público específico; já a pesquisa documental é realizada com documentos de natureza diversa, com finalidades diferentes tais como: autorizações, comunicações internas, relatórios, atas, boletins, banco de dados, cadastros entre outros.

A pesquisa documental ocorreu a partir da obtenção de dados secundários junto a instituições públicas e privadas: IBGE, AESA, ANA, Water Conservation, Portal & Serach Engine, World bank, OCDE, MMA etc.

A pesquisa de campo foi feita a partir da coleta de dados em experimento montado no Sítio Águas Ardentes no Município de Cabaceiras Paraíba, conforme descrito abaixo e nos resultados e discussões e foram utilizando recursos como planilhas, material para montagem dos canteiros e dos sistemas de irrigação etc. para análise dos dados foi agregado a pesquisa dados de pesquisa *ex-post-facto*, a pesquisa-ação e a participante, no intuito de melhorar a análise dos dados, dando mais confiabilidade aos mesmos.

3.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com a SUDENE que traz um novo recorte para o semiárido brasileiro (SAB), este abrange uma área de cerca de 1.000.300 km², compreendendo 1.262 municípios de 10 Estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, a região corresponde a cerca de 11,7% do território brasileiro, vivem cerca de 26,6 milhões de pessoas, cerca de 12,8% da população brasileira, de acordo com o Ministério da Integração Nacional (2017) e ASABRASIL (2018);sendo considerado o semiárido mais populoso do mundo (MANDELA, 2018), ver mapa 1.

Mapa 1- Semiárido Brasileiro



Fonte: SUDENE, 2021.

No mapa está à área total do semiárido brasileiro, que traz a divisão geográfica e as características do bioma caatinga, rico em espécies da fauna e da flora muito das quais endêmicas, como é muito diversa e complexa em características geomorfológicas pesquisadores consideram a caatinga como um bioma composto por diversas caatingas.

É uma região de extrema pobreza, apesar de rica em aspectos diversos, o que ocorre são concentração de renda por um lado e pobreza extrema por outro, com relação aos indicadores sociais, cerca de 58% da população pobre do país vive no semiárido brasileiro, 67,4% das crianças e adolescentes que vivem na região são afetados pela pobreza, correspondendo a quase 9 milhões de crianças e adolescentes. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) no semiárido é considerado baixo em 82% dos municípios (IDH até 0,65). O que representa um déficit em relação aos indicadores de renda, educação e longevidade para 62% da população do semiárido (ASABRASIL, 2021).

Quase metade da população, ou cerca de 12,5 milhões de pessoas, não possui renda ou tem como única fonte de rendimento os benefícios governamentais. Na sua maioria, são mulheres (59,5%). Os que ganham até um salário-mínimo mensal são cerca de 5 milhões (31,4%), sendo 47% mulheres. Apenas 5,5% dispõem de uma renda entre 2 e 5 salários-mínimos, a maioria de homens (67%), e dos 0,15% com renda acima de 30 salários-mínimos, apenas 18% são mulheres (ASABRASIL, 2021). O Índice de Gini, que mede o nível de desigualdade com base na renda, está acima de 0,60 para mais de 32% dos municípios, comprovando a elevada concentração da renda e, como é um índice que oscila entre 0 (zero) e 1 (um) quanto mais próximo de 1 (um), maior a desigualdade.

É uma região de elevado êxodo rural, isto posto pelas dificuldades de acesso aos serviços sociais e aos recursos naturais inclusive a água. A população rural cerca de 10,1 milhões de pessoas representa apenas 38% da população na região, uma realidade em êxodo que acompanha uma tendência em todo o Brasil, que tem promovido a população rural uma queda permanentemente. Entre os principais problemas que provocam esta migração, está a questão da água, a concentração de terras e a baixa produção de alimentos para consumo da família nos últimos cinco anos, (ASABRASIL, 2021) firma que:

A seca que castigou o semiárido brasileiro de 2012 a 2017, em especial o sertão do Nordeste, foi a pior da história já registrada no Brasil, aponta levantamento do Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia). Desde quando começou a série histórica no século 19, em 1845, nunca havia acontecido um período de seis anos consecutivos com chuvas abaixo da média e estiagem prolongada na região, que normalmente já possui um índice pluviométrico reduzido em comparação com outros lugares do país, a média de chovas anual oscila entre 200 e 800 milímetros em um ano normal, dependendo do lugar. Em 173 anos,

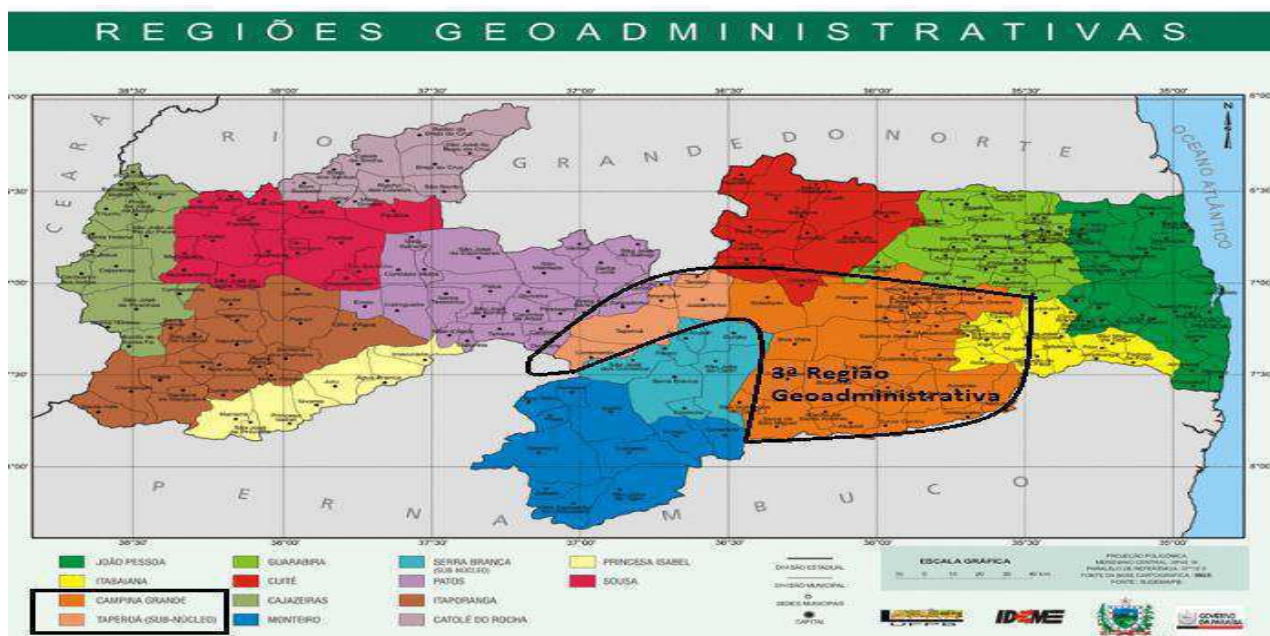
houve oito períodos de seca prolongada na área de abrangência do que hoje é chamado de semiárido brasileiro. Fora estes períodos, houve diversos anos de seca intensa, mas sem sequência de anos.

A seca é um fator natural que eleva os níveis de pobreza, restringindo a população a condições severas de falta de acesso aos recursos naturais, em especial a água que se torna um bem escasso tornando caro seu uso e inacessível a parte da população, principalmente os mais pobres.

A pobreza oriunda das relações sociais torna-se mais impactante quando as condições naturais são desfavoráveis, o que é uma realidade no semiárido e, esse desfavorecimento agrava-se a depender do nível de desenvolvimento do Estado da federação ao qual pertença, a Paraíba, Estado onde a pesquisa será realizada encontra-se dentro dessas condições de um semiárido castigado pelas secas e carentes de tecnologias que amenize as condições naturais.

Parte do território paraibano é composto pelo semiárido e, incluindo os 39 (trinta e nove) municípios que compõem a 3ª Região Geoadministrativa do Estado, são eles: Alagoa Grande, Alagoa Nova, Alcantil, Algodão de Jandaíra, Arara, Areia, Areial, Aroeiras, Assunção, Barra de Santana, Barra de São Miguel, Boa Vista, Boqueirão, Cabaceiras, Campina Grande, Caturité, Esperança, Fagundes, Gado Bravo, Juazeirinho, Lagoa Seca, Livramento, Matinhas, Montadas, Natuba, Oivedos, Pocinhos, Puxinanã, Quaimadas, Remígio, Santa Cecília, São Domingos do Cariri, São João do Cariri, São Sebastião de Lagoa de Roça, Soledade, Taperoá, Tenório e Umbuzeiro (IDEME, 2021), ver mapa 2.

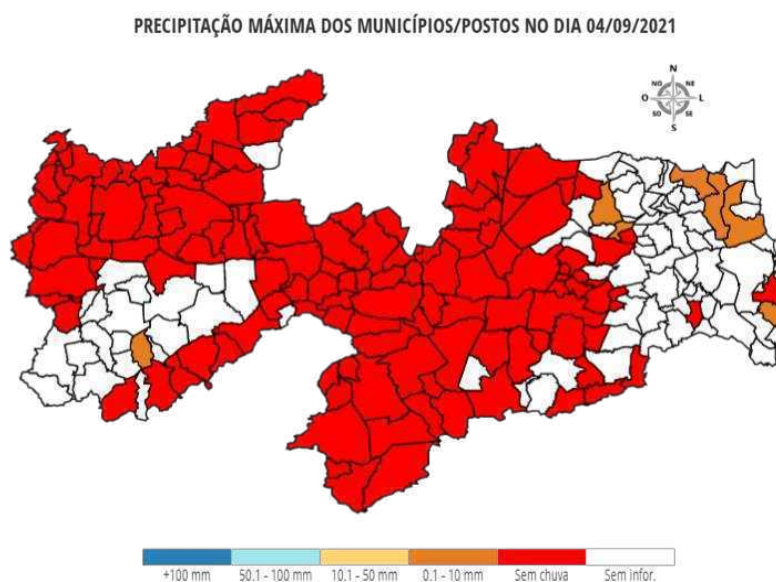
Mapa 2- Divisão do Estado da Paraíba em Regiões Geoadministrativas



Fonte: IDEME, 2021.

A 3ª Região Geoadministrativa da Paraíba é completamente inserida no semiárido paraibano, particularidade que deixa a região totalmente dentro do polígono das secas, caracteristicamente com índice pluviométrico muito baixo, para os anos de 2021, a precipitação acumulada até o momento se mantém muito abaixo da média, como ocorre historicamente a região central do Estado da Paraíba é a que representa situação mais crítica, ver mapa 3.

Mapa 3 – Precipitação máxima dos Municípios da Paraíba/postos no dia 04/09/2021.



Fonte: AESA/PB 2021

A grave escassez hídrica, que a região passa é uma realidade histórica, que pode ser amenizada com técnicas eficientes de irrigação, com baixo consumo de água, são alternativa para viabilizar a produção de agricultores familiares na região, promovendo aumento da renda e da qualidade de vida da população, desse modo e, para irrigação independentemente do método é necessário segurança hídrica, a aplicação do modelo de avaliação da sustentabilidade em sistemas convencionais realizada no município de Cabaceiras, dadas as características do mesmo e por ser considerado um dos mais secos do semiárido.

O modelo de avaliação foi composto por dois sistemas, um montado a partir dos dados de sistemas localizados tradicionais, já consolidados e em funcionamento e outro com dados de um sistema localizado por capilaridade desenvolvido pelos professores da UFPB e IFPB testado no município de Cabaceiras Paraíba, foi avaliado o grau de sustentabilidade

entre ambos os sistemas e verificado qual foi mais eficiente no uso da água para agricultura irrigada considerando a escassez e uso eficiente da água.

A água é um bem escasso e, assim sendo, limita o desenvolvimento da atividade agrícola, e a região onde a pesquisa foi desenvolvida é carente em recursos hídricos com precipitação anual considerada baixa para a atividade, para o ano de 2021 a precipitação foi até o momento muito abaixo da média, resultado em uma crise hídrica ainda mais severa para a região, ver tabela abaixo.

Tabela 3- Precipitação por municípios

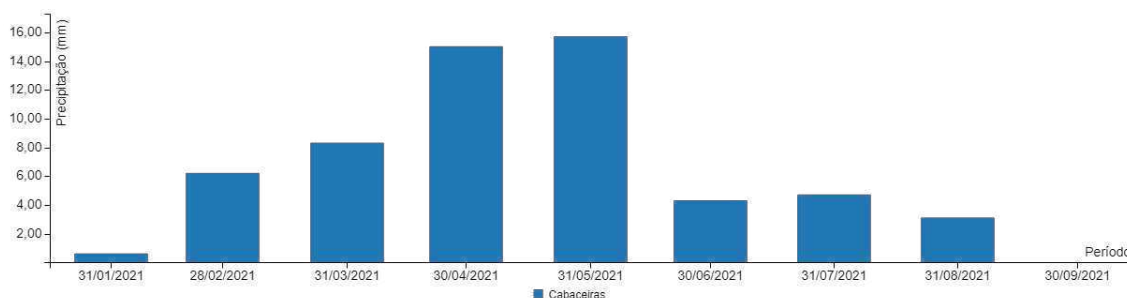
Barra de São Miguel	
Período	Precipitação em MM
01/01/2021 à 13/10/2021	186,7
Boqueirão	
01/01/2021 à 13/10/2021	214,4
Cabaceiras	
01/01/2021 à 13/10/2021	135,4
Esperança	
01/01/2021 à 13/10/2021	364,3
São João do Cariri	
01/01/2021 à 13/10/2021	109

Fonte: AESA/PB, 2021 (adaptado)

O acumulado para os municípios de janeiro de 2021 à outubro de 2021, de acordo com os dados da tabela acima estão abaixo da média que de acordo com a ESA/PB é de 800 milímetros anual, de modo que nessas condições a água passa a ser ainda mais escassa para a região, agravando a situação para os municípios citados, mesmo Esperança apresentando melhor índice em relação aos demais municípios está muito abaixo da média anual, entre todos o que apresenta pior resultado é São João do Cariri, os dados dos municípios acima, foram coletados para efeito de comparação e a tomada de decisão em qual dos municípios selecionados aplicar o experimento, a decisão por Cabaceiras, justifica-se pelo baixo índice pluviométrico e, mesmo São João do Cariri tendo menor índice, por critérios de acessibilidade e proximidade escolheu-se Cabaceiras para aplicação do experimento.

Comparativamente não há vantagens pluviométricas entre os municípios, o que há é uma melhora no acesso a água para os municípios de Barra de São Miguel, Boqueirão e Cabaceiras em função da Bacia Hidráulica do Açude Presidente Epitácio Pessoa – Açude de Boqueirão, em termos pluviométricos a situação é paritária, o gráfico 1 abaixo, gráficos pluviométricos apresenta o acumulado pluviométrico anual nele é possível visualizar os meses com melhor índice pluviométrico para o município.

Gráfico 1 - Precipitação anual para o ano de 2021 do Município de Cabaceiras período de janeiro de 2021 a 13 de outubro de 2021.



Fonte: AESA/PB, 2021.

O Município apresenta melhor índice nos meses de abril e maio, os demais meses são escassos intensificando os problemas por falta d'água, mesmo sendo beneficiado pelas águas do Açude de Boqueirão, parte do município tem problemas graves com falta d'água prejudicando não apenas a atividade agrícola como também a pecuária.

3.3. ABORDAGEM DO PROBLEMA E ETAPAS DA PESQUISA

Para abordagem do problema e realização da pesquisa por etapas, elaborou-se a matriz de amarração, com o propósito de melhor elucidar as etapas a serem seguidas e verificar os termos e os caminhos a serem seguidos para alcançar cada objetivo, assim como as fontes de dados e os critérios de análise.

A caracterização da área geográfica onde ocorreu o experimento levou em consideração a base teórica vigente dados oficiais dos órgãos oficiais como ANA, AESA, Secretaria de Agricultura do Município de Cabaceiras-PB, relatório da Associação de Moradores e Produtores do Assentamento Serra do Monte em Cabaceiras, os dados foram obtidos a partir de uma revisão sistemática da literatura e foram analisados de forma qualitativa.

Os sistemas de irrigação foram testados a partir de experimentação, a análise dos dados foi realizada de forma quantitativa e qualitativa a luz da base teórica proposta na pesquisa, quanto a análise dos sistemas foi realizada em três fases, no intuito de verificar a eficiência dos mesmos, no que diz respeito ao uso eficiente da água, a produção e a capacidade de resiliência e o desenvolvimento de habilidades no manuseio dos memos por quem estivesse operacionalizando-os.

A montagem do modelo tomou por base a teoria vigente sobre sustentabilidade e indicadores de sustentabilidade nos aspectos econômicos, ambientais e sociais, a partir dos dados da pesquisa e em uma abordagem quali-quantitativa, de igual modo a avaliação metodológica dos sistemas foi elaborada considerando os elementos do método IDEA e MESMIS, no intuito de verificar a eficiência e a sustentabilidade deles. Ver matriz de amarração abaixo.

Quadro 4: Matriz de amarração

PROBLEMA	Como sistemas de irrigação utilizados para produção agrícola podem contribuir para a sustentabilidade da Agricultura Familiar na região semiárida em Municípios da Paraíba?			
OBJETIVO GERAL	Propor um modelo de produção agrícola com sistemas de irrigação que agrega metodologia de avaliação da sustentabilidade na Agricultura Familiar na região semiárida em Municípios da Paraíba.			
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	BASE TEÓRICA	FONTE DE DADOS	TÉCNICA DE COLETA	TÉCNICA DE ANÁLISE
Caracterizar a área geográfica do estudo, a partir das condições naturais do solo, clima, vegetação e hidrografia	<ul style="list-style-type: none"> • Água, ciclo da água, clima, tempo, tipos de água para agricultura; • Desenvolvimento Sustentável; • ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável; • Agenda 2030; • Indicadores de sustentabilidade 	Bibliográfica	Revisão sistemática da literatura.	Qualitativa
Testar sistemas de irrigação na produção agrícola em diversas culturas locais, visando o uso eficiente da água na região semiárida	<ul style="list-style-type: none"> • Aspectos históricos, sociais, geográficos e econômicos. • Água para agricultura; • Tipos de água para agricultura; • Disponibilidade de água para agricultura • ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável; 	Primária	Resultados da pesquisa	Qualitativa e quantitativa
Analisar os sistemas de irrigação em três fases distintas, a partir dos custos de implantação dos sistemas, do consumo de água e produtividade do experimento	<ul style="list-style-type: none"> • Legislação ambiental; • Sistemas de irrigação; • Desenvolvimento Sustentável e o uso da água; 	Secundária e Primária	Consulta aos bancos de dados do município e resultados da pesquisa	Quantitativa
Propor um modelo de sistemas de irrigação combinados, a partir da projeção de custos da produção agrícola local, mediante o uso eficiente da água	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores de sustentabilidade e o uso da água; • Avaliando a sustentabilidade. 	Secundária e Primária	Resultados da pesquisa	Quantitativa e qualitativa
Propor uma metodologia de avaliação da sustentabilidade para produção agrícola com sistemas de irrigação, mediante a definição dos princípios, critérios e procedimentos para avaliação do sistema, a partir do Modelo MESMIS e IDEA.	<ul style="list-style-type: none"> • Método IDEA; • Método MESMIS 	Primária	Resultado da pesquisa	Qualitativa

Em referência aos aspectos metodológicos, a pesquisa caracterizou-se como sendo do tipo quantitativa e qualitativa (PEREIRA, et. al. 2018) que descreve a possibilidade de o trabalho ser tabelado quantitativo agregando a análise qualitativa do discurso social voltado a demanda da problemática social vigente (AQUINO, 2010). Na perspectiva de atender ao problema de pesquisa, foi de fundamental importância a clareza no caminho percorrido, a partir das informações inerente aos sistemas e execução das etapas das atividades.

A caracterização geográfica de onde foi implantado o experimento foi feito a partir de dados oficiais dos órgãos oficiais, considerando clima, relevo, hidrografia, vegetação e a água para agricultura e a disponibilidade dela para esse fim. Para a caracterização dos sistemas convencionais de irrigação e do sistema localizado por capilaridade aspectos como material utilizado, preparação do terreno, tipos de culturas e consumo de água pelas culturas em metros cúbicos e mercado consumidor foram considerados para que a função de produção possibilitasse a incorporação dos elementos, terra, capital, trabalho e recursos tecnológicos possíveis de serem utilizados nos sistemas, na busca por alternativas de eficiência na tomada de decisão pelo uso da água para agricultura irrigada, considerando os aspectos de escassez e uso eficiente da água em regiões semiáridos.

A otimização quantitativa do sistema foi realizada a partir da testagem dos mesmos, a partir dos dados de entrada na captação de água, assim como os dados de entrada de abastecimento do próprio sistema, isto posto pelo fator que possa haver além das águas fluviais entradas de abastecimentos via transposição de outras fontes que não de seus afluentes naturais e/ou poços artesianos, o intuito primordial dessa testagem foi averiguação da capacidade produtiva dos sistemas de irrigação considerando a escassez da água, a região semiárida e as culturas possíveis de cultivo nas condições testadas.

O modelo para avaliar a eficiência técnica dos sistemas foi realizado considerando os aspectos de custo-benefício da produção agrícola local, a partir de dados de implantação, manutenção, reposição e depreciação, assim como os custos ambientais relacionados aos indicadores econômicos, ambientais e sociais, caracterizando os sistemas em três fases distintas, considerando os custos de implantação dos sistemas, consumo de água e produção.

O processamento dos dados foi realizado a partir das ferramentas do Excel, observando a eficiência dos sistemas, tanto do ponto de vista do uso da água e da sustentabilidade quanto do retorno econômico. Foram considerados também o valor total da implantação dos sistemas, o valor total de entrada de recursos, estes servindo de parâmetros para orientar no uso da água para fins agrícolas capazes de orientar a produção para devolver

parte dos recursos investidos em questões ambientais, sociais, culturais, econômicas, valorando o meio ambiente e as culturas locais e, o mais importante produzindo alimentos a partir dos sistemas implantados.

Para o processo de planejamento e elaboração do modelo foi fundamental considerar a importância de sua representatividade para a região, a possibilidade de replicação deste em realidades semelhantes na íntegra e/ou adaptado, mas mantendo as características originais, para efeito de aplicação do modelo tomou-se por base sistemas de irrigação que atendam as características e as condições de produção da região, avaliados a partir de indicadores de sustentabilidade como parâmetros para medir a eficiência do modelo, com escassez e o uso eficiente de água, onde o tipo de cultura, área produtiva e técnicas utilizadas são essenciais para obtenção de resultados com eficiência no uso racional da água em regiões semiárida.

A caracterização da área cultivada foi estabelecida de acordo com os critérios descritos na tabela 4, onde o/a produtor/a é considerado pequeno aqueles/as inseridos/as em áreas produtivas nos limites de $\frac{1}{2}$ (um meio) hectare a 2 (dois) hectares, como sendo de médio porte os que produziram no intervalo de 2,5 (dois e meio) hectare a 4 (quatro) hectares e grande produtor os que cultivam 5 (cinco) ou mais hectares, isto posto pela valorização das terras em áreas cultivadas por irrigação e, por estas estarem situadas ao arredores de bacias hidrográficas e/ou de fontes de captação de água o que eleva os preços dos terrenos, para compra ou arrendamentos, dada a especulação financeira e, os critérios acima mencionados estão dentro dos limites da agricultura familiar e, são importantes de serem considerados na elaboração do modelo para que sendo aplicados o valor agregado do terreno não o torne inadequado, visto que a depender da forma e da localidade, as terras variam de valor.

A escolha pelo sistema de irrigação localizado por capilaridade e convencional ocorreu em função da análise da eficiência hídrica, da possibilidade de baixos custos, e da capacidade dos agricultores entenderem as tecnologias como sendo geradoras de resultados sustentável, e, a compreensão pela eficiência sendo medida, a partir do valor do investimento inicial, pelo retorno financeiro e pela quantidade de água utilizada em metros cúbicos para irrigação de um hectare.

As culturas selecionadas para compor o modelo foram aquelas cultivadas na agricultura familiar e as possíveis de serem cultivadas em regiões semiáridas, para possibilita a replicação do modelo, considerando que a depender da localidade, solo, temperatura e incidência solar o consumo de água pela planta pode ser variado, conforme Tabela 4.

Área Cultivada em Metros testado no Experimento							
Área Mínima (m)				Área Máxima (m)			
2				225			
Sistema de irrigação utilizado							
Aspersão/microaspersão (B)		Gotejamento/localizada superficial (C)			Gotejamento/localizada por capilaridade (A)		
Culturas							
Hortfruti		Frutas		Tubérculos		Leguminosas/outros que se aplique a área	
Nome popular	Nome Científico	Nome Popular	Nome Científico	Nome popular	Nome científico	Nome popular	Nome científico
Tomate	<i>Solanumlycopersicum</i>	Goiaba	<i>Psidiumguajav</i>	Batata doce	<i>Ipomoea batatas</i>	Milho	<i>Zeamays</i>
Pimentão	<i>CapsicumannuumGraup</i>	Mamão	<i>Caricapapaya</i>	Macaxeira	<i>Manihotesculenta</i>	Feijão de corda	<i>Vignaunguiculata</i>
Cebola	<i>AlliumCepa</i>	Maracujá	<i>Passiflora edulis</i>			Feijão carioca	<i>Phaseolusvulgaris</i> Pinto Group
Coentro	<i>Cariandrumsativum</i>	Melancia	<i>Citrulluslanatus</i>			Fava	<i>Vicia Faba</i>
Alface	<i>Lactuca sativa</i>	Coco	<i>Cocos nucifera</i>			Amendoim	<i>Arachis hypogoea</i> L.
Abobrinha	Curcutbita pepo	Banana	<i>Musa ocuinata</i> <i>Cavendish</i>			Maxixe	<i>Cucunis anguria</i>
Capim de Cheiro	Cymbo pagom citratus	Caju	<i>Anacardiumoccidentalle</i>			Gergelim	<i>Sesamun indicum</i> L.
Capim Elefante	<i>Pennisetum puprpurum</i> Schum	Limão	<i>Citrus X limon</i>			Jerimum	<i>Curcubita pepo</i> L.
Palma	<i>Opuntia fícus-indica</i>	Laranja	<i>Citrus X simensis</i>				

Tabela 4 – Área Cultivada em Metros testado no Experimento. **Fonte:** dados da pesquisa, 2023.

A metodologia aqui utilizada para escolhas das espécies, buscou legitimar juízos de valores que por ventura estejam inerentes as famílias agricultoras, posto que esses valores são por si só subjetivos, supondo que a subjetividade encontra-se no próprio processo de tomada de decisão, de sorte que a estrutura de valores dos colaboradores locais, sejam indivíduos e/ou instituições está associada a critérios já existentes, que são usados na avaliação das ideias de implantação do sistema a partir das culturas que já utilizam em suas atividades historicamente constituídas.

Para elaboração do modelo foram realizadas seis etapas organizadas de modo a avaliar a sustentabilidade dos sistemas de irrigação estudados, considerando o uso eficiente da água em situação de escassez como insumo na produção de alimentos em regiões semiáridas.

Etapa 1:

Para caracterizar os sistemas de irrigação foi necessário entender as características e aplicabilidade de cada um tanto o convencional quanto o simplificado por capilaridade, de modo que para caracterizar o sistema convencional, foi considerado aspectos como: material utilizado na implantação, custos dos equipamentos, forma de instalação e manutenção, fonte de abastecimento do sistema, mão de obra a ser utilizada se necessidade de especialidade ou não, preparação do terreno para irrigação, tipo de cultura mais adequada e retornos econômicos, sociais, políticos, institucionais e, os possíveis impactos ambientais causadores de externalidades positivas e/ou negativos assim como o descarte dos equipamentos e o mercado consumidor.

Para a caracterização do sistema simplificado de irrigação por capilaridade, a caracterização ocorreu a partir dos mesmos aspectos da caracterização do sistema convencional, averiguando desde então a viabilidade de implantação de ambos para a agricultura familiar em região semiárida e quais são menos impactantes para o meio ambiente, ainda que os custos sejam objetivos de outra etapa, já devem serem identificados parcialmente nesse momento, no entanto, nesse momento de caracterização dos sistemas, o mais importante é observar a capacidade de atender as necessidades da família agricultora, se viável do ponto de vista econômico, social, político institucional e ambiental, e ser acessível desde o material para implantação até a execução, e não demandar mão de obra com qualificação mais elevada.

Etapa 2:

Para definir o método de avaliação da eficiência técnica dos sistemas foi necessário compreender o processo técnico de implantação dos mesmos, avaliar a capacidade dos agricultores familiares de manuseá-los, e elaborar um sistema de análise econômica para averiguação dos custos benefícios da implantação dos Sistemas a partir da operacionalização do Custo Operacional Efetivo (COE); do Custo Operacional Total (COT) e do Custo Total (CT), para análise dos benefícios foram usados a Margem Bruta (MB); a Margem Líquida (ML) e a Lucratividade (L).

Etapa 3:

A análise econômica foi realizada a partir de metodologia simples e clara de fácil acesso para perceber os resultados alcançados de forma clara e acessível, comparando dados de investimentos e retornos respondendo às condições de caracterização descrito na meta 1, acrescida uma análise do Custo Médio Total (CMT); do Lucro Unitário (LU) e da Lucratividade (L), avaliado para a unidade em sua individualidade e comparada a outras, mas considerando sempre os valores com parâmetros econômicos, sociais e institucionais do desenvolvimento sustentável.

Etapa 4:

Quanto a metodologia de avaliação de indicadores foi selecionada indicadores de impactos positivos nos sistemas, para os indicadores econômicos, foi implantado dados referentes ao sistema de contas verdes, fornecendo informações capazes de produzir fluxos e estoques relativos ao meio ambiente, as condições econômicas e institucionais em sistemas relacionados os resultados com base na metodologia do MESMIS e do IDEA.

No sistema de contas tradicionais, as despesas são consideradas como parte do custo necessário para compensar os impactos negativos e positivos do crescimento econômico, no sistema proposto.

A análise da sustentabilidade dos sistemas foi realizada considerado não apenas o capital gerado pela produção humana, mas também o capital natural, incluído nesse processo outros capitais, além da água, como a terra, solo, subsolo e ar. O processo de formação do capital foi ampliado dentro do conceito de acumulação de capital, com isso foi possível a elaboração e mensuração de indicadores de estoques e receitas ajustáveis ao meio ambiente realizando a avaliação econômica do modelo imputado nessa avaliação os custos de depleção dos recursos naturais e as mudanças na qualidade do meio ambiente, tendo como pressuposto o fluxo de receitas, a produção e as despesas ao meio ambiente que também cria riqueza e,

o fluxo de poupança verdadeiro, calculado a partir dos resultados da produção ou receitas menos o consumo, a depreciação dos bens manufaturados e a redução dos recursos naturais.

A análise dos indicadores ambientais ocorreu na perspectiva de compreender a avaliação de condições e tendências, comparação entre os lugares e situações, avaliação das metas e dos objetivos, provendo informações de advertência e antecipar futuras referentes a condições de tendência, a partir da escolha da variável com valor individual ou em função de outra variável, para o caso em questão, avaliação dos sistemas de irrigação e os impactos desses ao meio ambiente a avaliação da sustentabilidade entre outros aspectos que sejam necessários a avaliação dos sistemas, buscando elementos no *modelo pressure state response* (PSR) que assume implicitamente que existe uma causalidade na direção dos diferentes elementos da metodologia, o *pressão ambiental* (P) que descreve pressões das atividades humanas sobre o meio ambiente incluindo os recursos naturais, os indicadores de *estado* (S) que se refere a qualidade do ambiente e a quantidade e a qualidade e quantidade dos recursos naturais, e a pegada hídrica, que em conjunto poderá possibilitar o entendimento do transporte e fluxo de material total produzidos e consumidos pelo sistema dando uma possível visão dos resultados econômicos e ambientais para o mesmo, a principal vantagem dessa abordagem pode estar relacionada na ligação que há entre o consumo de materiais e seus impactos na natureza.

Para a avaliação da dimensão social, foi considerar aspectos do IDH – índice de desenvolvimento humano, no que diz respeito a longevidade, conhecimento e padrão de vida decente, para entender se o sistema implantado promoveu qualidade de vida aos usuários, a sociedade de modo geral buscando responder positivamente aos impactos de vizinhança, promovendo sobretudo desenvolvimento a região, nesse sentido buscou-se dados confiáveis, colhidos por experimentação relacionados a renda per capita, a existência de bens e serviços disponíveis, no intuito de verificar especialmente as questões da privação humana, que passa pelo crivo de ser sustentável aquilo que a população atual é capaz de deixar as gerações futuras.

Etapa 5:

A aplicação do modelo ocorreu em duas etapas em cada sistema, uma no início da implantação para avaliação dos aspectos técnicos, capacidade de manuseio deles, e utilização eficiente dos recursos naturais e dos equipamentos e outra no final para avaliação da manutenção, da rentabilidade e qualidade dos equipamentos e do aumento ou diminuição da destreza dos usuários. Nessa segunda avaliação o objetivo foi verificar se os usuários estão

aptos a desenvolverem sozinhos os sistemas para essa avaliação foram necessários a captação de informações advindas dos próprios usuários, sendo confirmado as habilidades destes para execução dos sistemas, uma vez que a tecnologia é simples sem apresentar maiores dificuldades de manuseio.

Etapa 6:

Para a análise comparativa, todos os dados realizados nas etapas anteriores foram utilizados, visto que se verificou a sustentabilidade dos sistemas, a partir de informações capazes de definir a tomada de decisão, assim foi considerado viável o sistema que comparado ofertou retorno ao usuário igual ou superior a 5% do investimento inicial e com propensão de crescimento ao menos de 1,5% ao ano em uma progressão de 10 anos, quando esse necessite ser renovado pelas leis da depreciação.

A renovação do sistema deve ser realizada considerando os aspectos descritos na etapa 1, levando em conta o descarte, o reaproveitamento dos equipamentos, os impactos desses ao meio ambiente, assim como atendam as demais condições descritas em todas as etapas descritas, no entanto, se alguma das etapas não forem atendidas, será considerado viável o sistema que apresentar eficiência no uso da água, viabilidade econômica e potencialidade para o desenvolvimento regional, não provocar em maior grau privações humanas para o alcance de alguma sustentabilidade e considerar os aspectos da comercialização virtual da água, a qualidade da vida social e individual e não declinar na riqueza total efetiva de sorte a garantir variáveis que garantam a análise da riqueza total produtiva como uma medida técnica da sustentabilidade.

3.4. INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Para as pesquisas desenvolvidas como estudo de caso, recomenda-se usar múltiplas fontes de informação, construir uma base de dados ao longo da investigação, para, assim, ir formando uma cadeia de evidências relevantes (GOMES *et al.*, 2010). Desta forma, a seguir estão os variados instrumentos e procedimentos utilizados.

3.5. MAPEAMENTO E MOBILIZAÇÃO DE GRUPOS DE INTERESSE

Esta atividade foi desenvolvida desde o início da pesquisa de campo, o objetivo foi identificar os atores que de alguma forma possa se envolver no processo contribuindo de alguma forma para o desenvolvimento dos objetivos da pesquisa, foram realizadas visitas ao município, e contatados os poderes públicos municipais, associações, cooperativas, ONGs, instituições de ensino, comitês, comunidades locais, e produtores, todos aqueles que de alguma forma venham a se interessar pelo método de produção sugerido no experimento, já que trata de uma questão crucial para regiões semiáridas, a produção de alimentos com uso racional de água, nesse processo as pessoas foram selecionadas pelo procedimento amostral “bola-de-neve” (BIERNACKI; WALDORF, 1981), no qual um entrevistado indica outro, promovendo uma expansão da amostra, cobrindo assim uma maior área ao mesmo tempo em que se garante o envolvimento de atores que podem contribuir com a problemática investigada.

A abordagem na comunidade seguiu os requisitos recomendados por (MOURÃO E NORDI, 2003): O pesquisador procurou compreender as atividades e o estilo de vida dos indivíduos com os quais fez contato; tentando intervir o mínimo possível na dinâmica do grupo, sendo paciente e percebendo quais os melhores momentos para obtenção das informações; e, mostrando sempre entusiasmo e curiosidade sinceros acerca do que era dito pelo informante, esclarecendo, sempre que lhe foi solicitado, o interesse verdadeiro de sua interlocução.

O processo descrito acima, ocorreu para entendimento do processo de replicação dos sistemas pelos tomadores de decisão, sendo portanto, mencionado aqui como meio de esclarecimento que, sendo viável e foi, de acordo com os resultados descritos adiante e, querendo as autoridades podem melhorar as condições de vida das populações locais com responsabilidade ambiental, viabilidade econômica, social e institucional e garantido a produção ao menos em escala familiar conforme pode se averiguado nos resultados e discussões, outro aspecto importante dessa etapa na elaboração do experimento foi adaptar quase que integral a realidade dos agricultores locais, para verificação da possibilidade de replicação em escala real.

3.6 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Este tipo de estudo, é fundamental para qualquer pesquisa desde sua concepção até o seu término. Este instrumento prevê a busca orientada, sistemática e exaustiva de literatura científica apresentada através de artigos, livros, teses, dissertações, monografias e demais formatos acima já mencionados. A principal vantagem deste tipo de pesquisa é a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia ser pesquisada diretamente (GIL, 2010).

3.7 - REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

A revisão sistemática de literatura (RSL) é um tipo de estudo que permite maximizar o potencial de uma busca, encontrando o maior número possível de resultados de uma maneira organizada. O principal diferencial da revisão sistemática em relação à revisão de literatura é que a última organiza o material de acordo com a perspectiva dos autores enquanto a primeira considera hipóteses iniciais e estudos que apontam outras perspectivas diferentes da pesquisa empreendida. A revisão sistemática seguiu as seguintes etapas: delimitação das questões da pesquisa; escolha das fontes de dados; eleição das palavras-chave para a busca; busca e armazenamento dos resultados; seleção de artigos pelo resumo de acordo com critérios de inclusão e exclusão; extração dos dados dos artigos selecionados; avaliação dos artigos; síntese e interpretação dos dados (COSTA e ZOLTOWSKI, 2014).

3.8 - PESQUISA DOCUMENTAL

Assemelhada com a pesquisa bibliográfica diferenciando-se desta primordialmente pela fonte de dados, já que na pesquisa documental há a utilização de materiais que ainda não receberam um tratamento analítico, os quais são comumente conservados em arquivos de órgãos públicos e instituições privadas: associações científicas, associações comunitárias, igrejas, sindicatos, websites, etc. assim como cartas pessoais, diários, fotografias, gravações, memorandos, atas de reuniões, relatórios, regulamentos, ofícios e boletins (GIL, 2010).

Os documentos foram levantados em órgãos, instituições, coletivos e atores chave, como: Secretarias municipais de desenvolvimento econômico e/ou agricultura, ONGs, Sindicatos de Trabalhadores Rurais, Associações comunitárias, Prefeituras, Jornais locais,

Agência de Desenvolvimento Econômico do Estado, Universidades, AESA/PB, ANA etc., para entender a aplicabilidade do estudo, tendo em vista a possibilidade de replicação dos sistemas posto a necessidade de políticas de produção de alimentos com baixo custo e uso racional de água.

3.9 – MAPEAMENTO DOS DADOS DO EXPERIMENTO E PARAMENTOS DE MONTAGEM DO MODELO

Para coleta dos dados foram utilizadas tabelas no Excel com dados de consumo de água por dia, desenvolvimento das plantas e produção, por fase de experimentação, as tabelas foram montadas com as mesmas informações para cada sistema de irrigação e os dados colhidos nas mesmas condições, tentando dessa forma minimizar erros que de dupla contagem.

Para a medição da água foram utilizadas caixas de 500 litros para cada sistema, estas abastecidas no primeiro momento considerado tempo 0 (zero) e só reabastecida quando seca por completo para evitar erros na contagem dos litros, o reabastecimento foi realizado por um motor bomba a gasolina da marca Toyama Power Products, TWP5 SH-GII, com 4 cv de potência e a tubulação cano de 2,5 polegadas, o tempo de abastecimento de cada caixa também foi considerado.

Para montagem do modelo a partir dos dados colhidos e tendo as observações do grupo focal foi montado um sistema de indicadores cujos parâmetros foram baseados no método IDEA e MESMIS, ambos descritos na fundamentação teórica.

Do MESMIS foram utilizados parâmetros para seleção dos indicadores de avaliação a partir das alterações causadas no meio ambiente em função da ação antrópica, observando desde a decisão do espaço onde desenvolver a atividade, passando pela determinação dos pontos críticos, pela seleção dos indicadores estratégicos, pelo monitoramento até a apresentação e integração dos resultados e, do método IDEA utilizou-se como base a capacidade de quantificação das características técnicas, espaciais, econômicas e humanas dos sistemas estudados, condicionando a possibilidade de avaliação dos sistemas com maior precisão e capacidade de mensurar os resultados.

Os parâmetros do MESMIS e do IDEA utilizados na constituição do modelo, possibilitaram a definição de indicadores, sendo atribuídos valores para então realizar a avaliação da sustentabilidade dos sistemas, sendo os valores organizados de forma

hierárquica de acordo com as competências e dimensões de cada indicador para que a avaliação pode ser escalonada.

Definidos os indicadores, com valores agregados hierarquicamente, considerando as competências e dimensões de cada um indicador e, as dimensões sendo avaliadas em escalas determinadas por pontuação, aqui determinadas pontuações escalares de 0 (zero) a 10 (dez), cujos valores acima de cinco representa sustentabilidade dos sistemas.

Como valores próximos a 0 (zero) levam a insustentabilidade, determinou-se que a dimensão que obtiver pontuação entre 0 (zero) e 5.0 (cinco ponto zero) está fora do nível aceitável de sustentabilidade por apresentar alto impacto ao meio ambiente e aos seus recursos, assim resultados econômicos, sociais e institucionais ineficientes e as dimensões com notas entre 5 (cinco) e 10(dez) apresentam nível aceitável de sustentabilidade, por apresentar baixo nível de impacto ao meio ambiente e aos seus recursos, e resultados econômicos, sociais e institucionais eficientes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

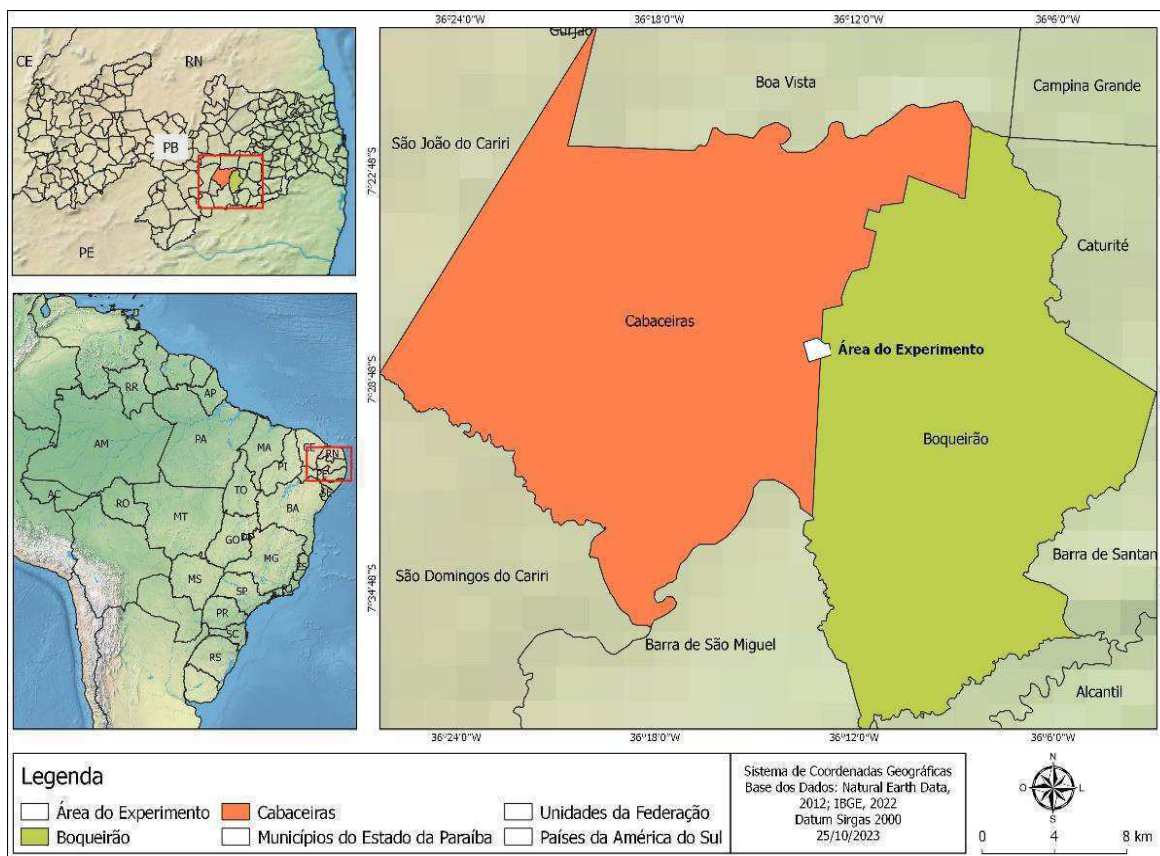
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA GEOGRÁFICA

O Cariri Paraibano está localizado na mesorregião da Borborema, que é constituída por quatro microrregiões: Cariri Ocidental, Cariri Oriental, Seridó Oriental e Seridó Ocidental (Moreira 1988). Juntos, o Cariri Ocidental e o Cariri Oriental compreendem o que denominamos de Cariri Paraibano, a região de menor densidade demográfica do estado da Paraíba. Esta região é um dos pólos xéricos do Nordeste brasileiro; a precipitação média anual não chega a 600mm, alcançando em Cabaceiras 246mm, os mais baixos índices pluviométricos do Brasil (MOREIRA 1988). A temperatura média anual é 26°C, com médias mínimas inferiores a 20°C, e a umidade relativa do ar não ultrapassa 75%.

O estudo foi realizado a partir de experimentação com três sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão e irrigação localizada subterrânea), ver item 1.5, o experimento foi realizado no município de Cabaceiras Paraíba, distante da capital João Pessoa 191 KM, o município de Cabaceiras localiza-se na microrregião do Cariri Oriental do Estado da Paraíba, ver mapa abaixo, e é conhecido por ser o município mais seco da região, com uma população de 5.661 habitantes e densidade demográfica de 12,4h/km² IBGE (2020), a principal atividade econômica da região é a produção de leite e seus derivados, em especial leite de cabra, agricultura familiar diversificada (AFD) e turismo.

De acordo com o IBGE (2010), a região estudada tem uma área de 400.222 KM com elevação de 390 m acima do nível do mar, os solos são do tipo cristalinos e sedimentares, os rios do tipo temporários e a vegetação do tipo caatinga.

Mapa 4 – Localização Geografia do Cariri Oriental e de Cabaceiras



Fonte: Silva, 2023 adaptado de Koppen's 2013.

4.2 CONDIÇÕES NATURAIS

Compreender as condições naturais em que estão inseridos os sistemas de produção é condição primeira para se determinar as características da produção e então compreender o processo de desenvolvimento da própria região, em se tratando de regiões semiáridas e com sérios problemas de escassez de água, entender o funcionamento das condições naturais é um processo indispensável para se determinar as políticas públicas de gestão e gerenciamento desses recursos.

Em se tratando de gestão de recursos, políticas públicas e produção no semiárido, as condições de solo, clima, vegetação, hidrografia e outros, são determinantes no processo e devem estar presentes na análise, seja da produção, das condições de convivência do homem com a natureza ou dos serviços ambientais, visto que os recursos naturais são indispensáveis ao processo de produção, sobretudo, quando se trata de agricultura familiar diversificada (AFD) e, ou outras produções vinculadas a famílias agricultoras, nesses processos está a produção de leite, o extrativismo, atividade agrícola, pecuária etc.

De sorte que para avaliar a eficiência de sistemas produtivos em regiões com sérios problemas de escassez hídrica, é preciso primeiro entender os elementos indispensáveis ao próprio processo de produção, como solo, hidrografia, água etc., não dispensando os elementos vinculados aos comandos humanos como trato vegetal, metodologia de uso do solo e da água e, as características da região, cujas descrições seguem abaixo.

4.2.1 SOLO

É concesso na literatura que o Cariri paraibano apresenta deficiência pluviométrica, dentre outros motivos, esta condição pauta-se em sua vertente a sotavento do Planalto da Borborema, mostrando a influência que a distância do oceano e a morfologia do relevo exercem na distribuição dos climas (MOLION e BERNARDO, 2002, NASCIMENTO e ALVES, 2008). Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (AESA, 2006), ocorrem, nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba, com base em uma estrutura hidrogeológica, o Sistema Cristalino, que é constituído de três mega-associações lito-estratigráficas:

- Rochas constituintes do embasamento do Sistema, de idades Arqueana e/ou Paleoproterozóica, representadas por migmatitos, ortognaisses e granitóides diversos;
- Rochas constituintes de coberturas supracrustais, de idades Paleo, Meso e Neoproterozóica, representadas por metasedimentos diversos, com predominância de xistos e, subordinadamente, por outros metasedimentos, como quartzitos, meta-arcósios, filitos, calcários cristalinos (mármore) e outras rochas calco-silicáticas;
- Os granitóides diversos (granitos, granodioritos, dioritos etc.), que penetram as referidas rochas supracrustais ou estão, geneticamente, associados à origem das mesmas, através do processo de migmatização. Este sistema ocupa uma área de cerca de 49.000 km² (87% da área estadual), inserindo-se, todo ele, na região semiárida do estado, tendo os seus recursos repartidos entre as bacias hidrográficas de Piranhas, Paraíba, Jacu, Curimataú, Mamanguape, Miriri, Camaratuba e Gramame.

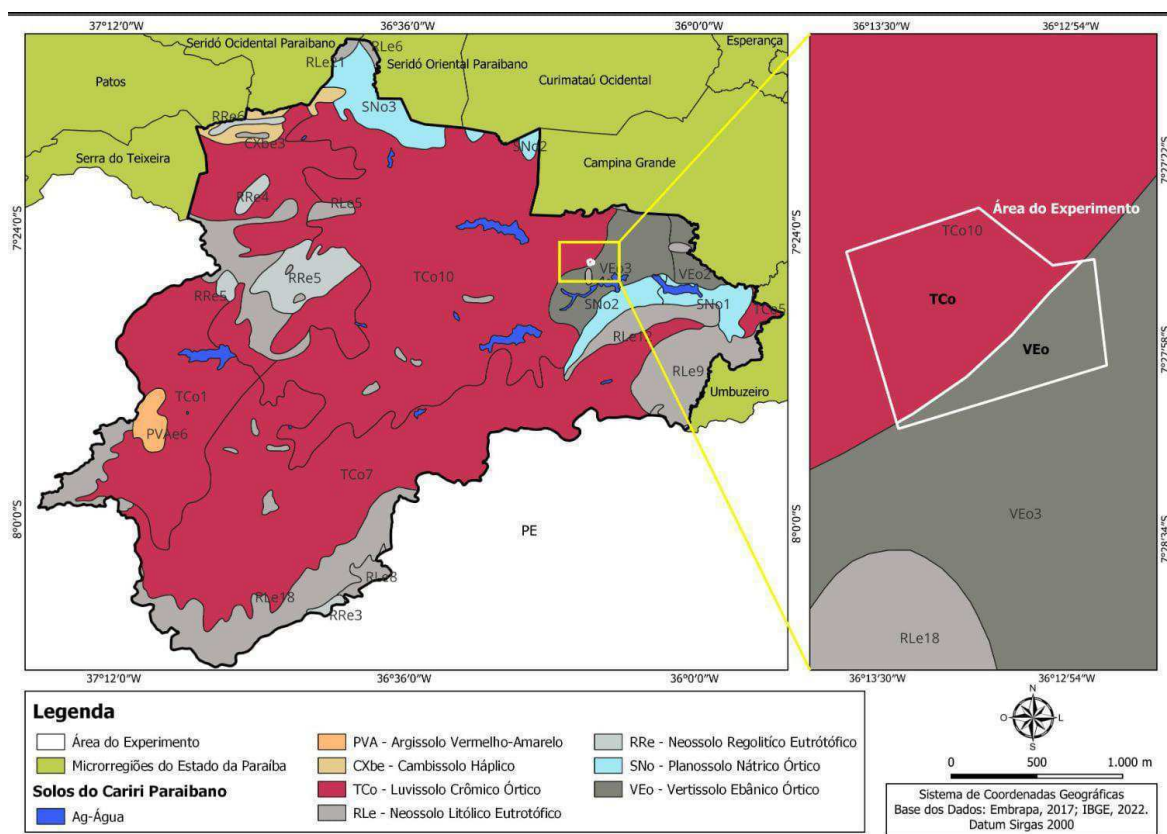
Com relação aos Domínios Morfoestruturais, que ocorrem em escala regional, organizam os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas. As microrregiões estudadas estão compreendidas nos Cinturões Móveis Neoproterozóicos. Estes domínios correspondem a extensas áreas representadas por planaltos, alinhamentos serranos e depressões

interplanálticas elaboradas em terrenos dobrados e falhados, incluindo principalmente metamorfitos e granitóides associados (IBGE, 2009).

A unidade geomorfológica evidente na região é a unidade de relevo mais importante do setor oriental do Nordeste brasileiro, denominado Planalto da Borborema, o qual é composto por um núcleo cristalino arqueado, fazendo parte do cinturão orogênico da faixa atlântica, encontrando-se em posição relativamente isolada (ROSS, 2011).

De acordo com (CORRÊA et al. 2010) compreende-se como sendo parte deste “planalto”, todo o setor de terras altas, acima da isolinha de 200 metros, podendo ultrapassar 1000 m de altitude, situado a norte do rio São Francisco, estruturado nos diversos litotipos cristalinos correspondentes aos maciços arqueanos remobilizados, sistemas de dobramentos brasileiros e intrusões ígneas neoproterozóicas pós-orogênicas. O limite oriental do planalto é genericamente definido pela ruptura de gradiente existente entre a encosta e os patamares rebaixados do piemonte em direção à costa. A depressão sertaneja, a oeste, define o limite ocidental como um semicírculo de terras baixas semiáridas separado do topo do planalto por uma escarpa, que ressalta os controles litológicos e estruturais.

Mapa 5- Tipos de Solos



Fonte: Silva, 2023 adaptado de Embrapa solos, 2017.

4.2.2 CLIMA

Localizado no semiárido paraibano, o cariri oriental apresenta predominantemente clima do tipo Bsh – semiárido, com chuvas de verão e outono, temperatura média anual de 24° C, precipitação média anual entre 300 e 700 mm, essa é uma característica climática que tem início após o Brejo, em toda porção aplainada elevada da Borborema e nos vales que a cortam, características dos rios Paraíba, Curimataú, Taperoá, Seridó entre outros, cuja paisagem é caracterizada a partir da semiaridez do clima.

O clima Bsh, quente e seco, com chuvas de verão e outono alcança os índices mais baixos de precipitação do Estado como dito antes entre 300 e 700 mm, sendo os municípios de Barra de Santa Rosa e Cabaceiras os que apresentam menores índices em média 300 mm, e juntamente com Acari – Rio Grande do Norte, o conhecido “triângulo das secas”, (ATLAS, 2023).

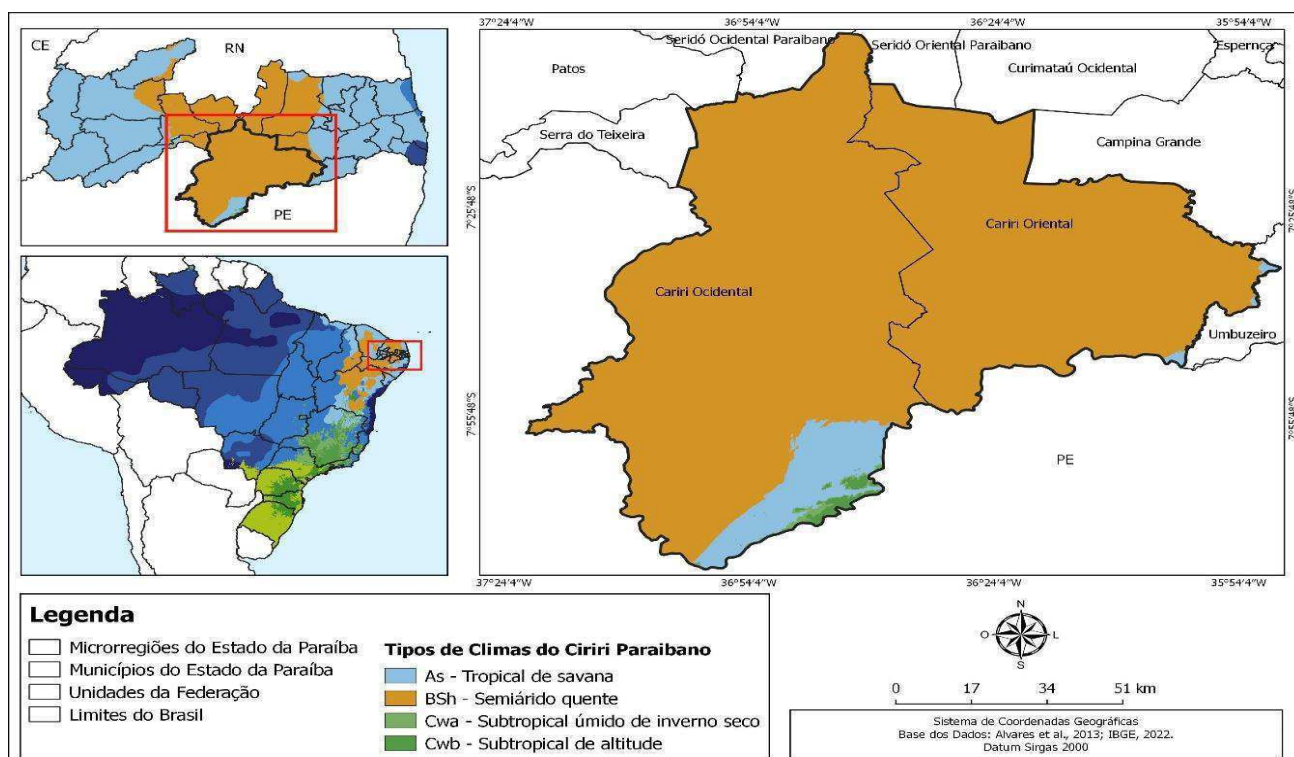
A região apresenta temperaturas elevadas durante o dia e amenas durante a noite, ainda assim, apresenta média anual de 26° C, de máxima e mínima de 20° C, a umidade relativa do ar não ultrapassa os 75 %, condições que por si só dificultam as atividades econômicas vinculadas a agricultura e pecuária (ATLAS, 2023), o clima inóspito é ainda mais complexo para a região pela irregularidade das chuvas, fator que provoca o fenômeno das secas, fenômeno que causa os grandes movimentos migratórios, que outrora ficou conhecido como os ‘retirantes do Sertão’.

O clima, a falta de água por períodos muito prolongado provocam um desenvolvimento lento dos solos, a decomposição química da rocha é pouco expressiva, ocorrendo maior ação mecânica, quebra da rocha, dessa modo, os solos são rasos e pedregosos, o afloramento da rocha granítica ocorre frequentemente na forma de grandes matacões, condição que determina o desenvolvimento da vegetação do tipo caatinga das regiões do Cariri e do Curimataú paraibano, vegetação que em épocas remotas eram do tipo arbustiva-arbórea, tendo destaque a jurema, o mandacaru, o facheiro e a catingueira, árvore também características da região (ATLAS, 2023).

A descrição da caatinga acima destaca-se para o cariri, pois no Seridó, esse tipo de vegetação é bem mais empobrecido, do tipo herbácea, apresentando em sua maior parte apenas um extrato quase contínuo de capim panasco e esparsas touceiras de xique-xique, (ATLAS, 2023).

Com solos rasos e pedregosos, a caatinga do Cariri, é uma região áspera, exigindo do biotipo humano características particulares que condicionam lhes a sobrevivência, de modo que, está adaptado as condições de clima vegetação e relevo é o determinante para a permanência e sobrevivência na região, uma vez que as limitações por água são claras e necessitam de meios e tecnologias sociais para amenizar os efeitos da seca, uma vez que as próprias condições hidrográficas da região estão inseridas e determinadas pelas condições de clima e vegetação.

Mapa 6 - Clima



Fonte: Silva, 2023 adaptado de EARTHATA/NASA, 2011.

4.2.3 VEGETAÇÃO

A pluviosidade reduzida e o relevo, basicamente em duas unidades, terrenos dissecados e o nível da Borborema, condicionam a diversidade e riqueza da vegetação. No Cariri os solos são rasos e pedregosos e a vegetação é considerada baixa e pobre em espécies, mas acompanha um gradiente de precipitação e profundidade do solo (SAMPAIO et al. 1981).

Gomes (1979), analisando os padrões de caatinga no Cariri, observou que a precipitação foi o principal fator ambiental condicionante das diferenças encontradas na vegetação; comunidades de menor densidade e maior porte mudando gradativamente para

comunidades de maior densidade e menor porte. Esta ordenação está correlacionada principalmente com a precipitação média anual e com as características de altura e densidade das espécies encontradas, não apresentando correlação com os diferentes tipos de solo observados.

Andrade-Lima (1981) separa em uma unidade própria o tipo de vegetação que ocorre no Cariri Paraibano, considerando a associação *Caesalpinia Aspidosperma* como típica desta região. Ocorre outras variedades de espécies vegetais, no entanto a associação acima mencionada representa significativa parcela das espécies da Caatinga do cariri paraibano, que em função de suas adversidades climáticas e da baixa resiliência do ecossistema, é uma das áreas de alta prioridade para o estudo da conservação do bioma Caatinga.

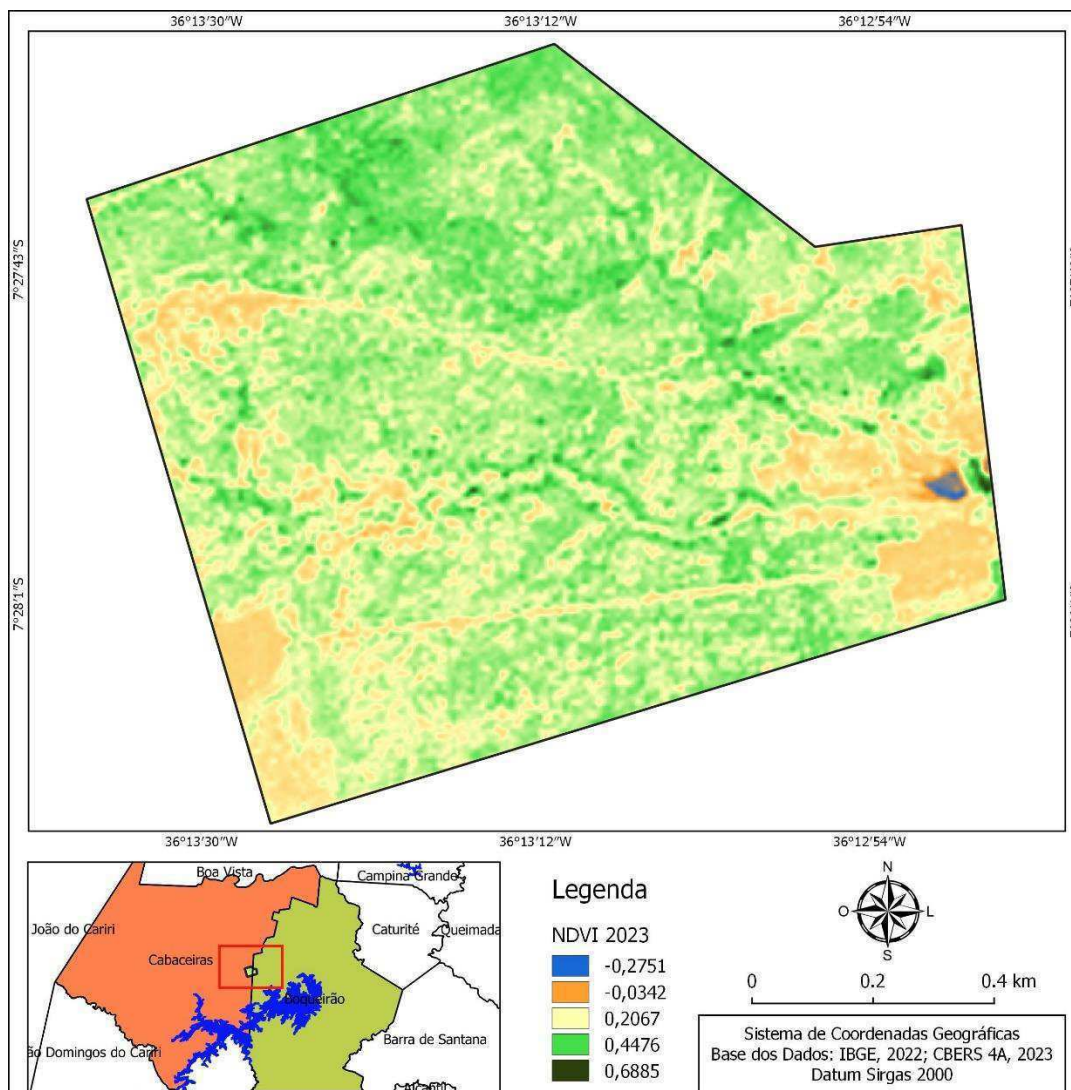
A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, ocupa uma área de aproximadamente 734.478 KM², correspondendo a 70% da região Nordeste e 11% do território nacional (IBGE, 2009).

A vegetação da Caatinga apresenta características de adaptação ao longo período de seca e grande diversidade de espécies vegetais, muitas delas endêmicas (desenvolvem-se apenas nessa região). A vegetação da Caatinga apresenta três estratos: arbóreo: com espécies que variam entre 8 e 12 metros de altura; arbustivo: com espécies que variam entre 2 e 5 metros de altura; herbáceo: com espécies com altura abaixo de 2 metros.

As principais características da vegetação são árvores baixas, troncos tortuosos e que apresentam espinhos e folhas que caem no período da seca (com exceção de algumas espécies, como o juazeiro). O cair das folhas é um mecanismo para evitar a perda excessiva de água e diminuir a ocorrência de processos fotossintéticos para que as plantas entrem em estágio de economia de energia. Outra característica marcante é que as raízes das plantas cobrem o solo para que seja possível armazenar água durante o período de chuva.

Algumas espécies de cactáceas, como o mandacaru, apresentam uma característica peculiar: suas folhas são modificadas em espinhos para evitar que a planta perca água pelo processo de transpiração. Os espinhos são também um mecanismo de defesa dessas plantas, a fim de evitar que animais se alimentem delas."

Mapa 7 – Vegetação



De acordo com o mapa acima, o NDVI quanto mais próximo de um, melhor a cobertura vegetal, de modo que para a área do experimento, o melhor resultado foi de menos de meio, o que significa área em processo avançado de desmatamento, como estamos em uma região de clima seco, para os resultados serem positivos do ponto de vista de cobertura, é essencial a constituição de microclima.

Ao observar o mapa, percebe-se áreas com coloração do marrom ao terra, isso se refere a áreas completamente desmatadas, trata-se de uma região onde se pratica intensa agricultura e, quanto mais próximo da bacia hidráulica do açude de Boqueirão, o Açude Público Epitácio Pessoa, maior os impactos antrópicos sobre o meio ambiente para a prática da agricultura irrigada, por essa razão, para se ter maior confiabilidade nos dados, o experimento foi realizado em uma distância de dez quilômetros da distância mais próxima

do açude em questão, minimizando a influência de defensivos sobre o experimento e diferenciando os mediantes as condições naturais.

4.2.4 HIDROGRAFIA

A área do Cariri Paraibano está inserida na Bacia Hidrográfica do Paraíba, rio que nasce na Serra de Jabitacá, divisa do município de Monteiro, na Paraíba; com Sertânia, em Pernambuco. Percorre a região centro-sul da Paraíba até seu estuário, na cidade de João Pessoa, onde deságua no Oceano Atlântico. Na região do Cariri Paraibano, no seu alto curso, recebe como principal afluente o rio Taperoá, para formar o Açude Boqueirão, de onde segue seu curso.

Os municípios que compõem a área têm a seguinte configuração hidrográfica: O município de São João do Cariri encontra-se inserido nos domínios da sub-bacia do Rio Taperoá, no Alto Paraíba. Seus principais tributários são: os rios Gurjão, Soledade, Taperoá, da Serra Branca e os riachos: da Caatinga, da Telma, do Mulungu, da Catingueira, Cachorro, do Afogado, das Marias Pretas, da Capoeira do Justino, das Cobras, do Saco, Pau da Ponta, Mateus, Fundo, Quixaba, do Formigueiro, da Cachoeira, do Milho, do Damásio, do Badalo, Boa Ventura, do Farias, Olho d'Água, Algoduais, Macambira, Algodoeiros, Forquilha, do Bento, dos Avelós, do Cantinho, do Jirau, do Agave, dos Mares, Gravatá, Ipueirinha, da Cachoeirinha, das Cacimbas, do Currallinho, do Boi e Salgadinho. Os principais corpos de estocagem de água são: o Açude Namorado e as lagoas: de Baixo, do Pereira, da Serra, Forquilha, do Escondido e da Maniçoba. Todos os cursos d'água têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é dendrítico (CPRM, 2005a).

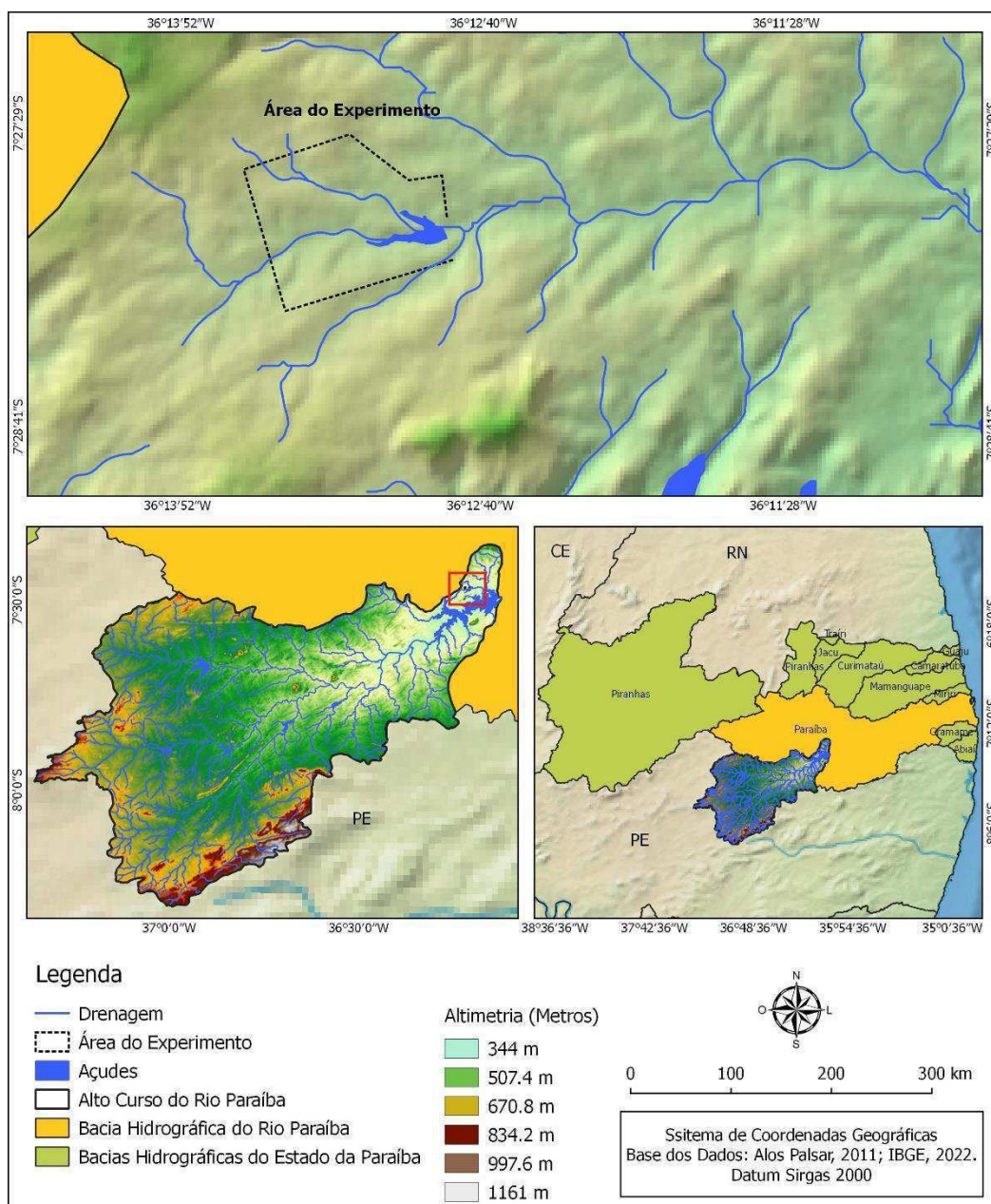
O município de Cabaceiras também se encontra inserido nos domínios da sub-bacia do Rio Taperoá. Os principais cursos d'água são: os rios Taperoá, Paraíba e Boa Vista, além dos riachos: do Pombo, Gangorra, Pocinho, da Varjota, do Tanque, Fundo, Algoduais, do Junco e Macambira. O principal corpo de estocagem é o Açude Público Epitácio Pessoa, ou do Boqueirão, com cerca de 450 milhões de m³. Todos os cursos d'água têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem dendrítico (CPRM, 2005b).

O município de Boqueirão encontra-se inserido nos domínios do Alto e Médio Paraíba. Seus principais tributários são: o Rio Paraíba e os riachos: da Cobra, da Ramada, do Monte, Olho d'Água Seco, do Feijão, Marinho, Arapuá e Canudos. O principal corpo de

acumulação d'água é o açude do Boqueirão. Todos os cursos d'água no município têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é dendrítico (CPRM, 2005c).

Já o município de Boa Vista encontra-se inserido nos domínios do Médio Paraíba. Seus principais tributários são: os rios Boa Vista e São Pedro e os riachos: Riachão, Cachoeira dos Pombos, Lagoa Preta, da Farinha, dos Defuntos, da Macambira, Mandacaru, do Tronco, do Pombo e Urubu. Todos os cursos d'água no município têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é dendrítico (CPRM, 2005d)

Mapa 8 – Hidrografia



Fonte: Silva, 2023 adaptado de INPE, 2023.

A hidrografia da área do experimento é formada de riachos e córregos, todos sendo desaguados no rio Taperoá que desagua na bacia hidráulica do Açude de Boqueirão, cujo experimento encontra-se no alto curso do rio Paraíba, referenciado assim pela distância mínima de dez quilômetros da margem direita do rio Paraíba em relação ao experimento seguindo sentido leste oeste, nesses termos, o experimento foi realizado utilizando as águas de uma barragem particular, situada dentro da área experimental, cuja capacidade é de aproximadamente quinze mil metros cúbicos de água (DNOCS, 2023) e a mesma é abastecida pelo riacho de Águas Ardentes este nasce nas proximidades da região da Serra do Monte e desagua na parte norte do Rio Taperoá, (Açude de Boqueirão) sentido oeste leste.

4.3 ESCOLHA DO TERRENO E PREPARAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO

A escolha da área levou em consideração características geomorfológicas do solo e as condições de naturalidade o mais próximo possível das condições originárias, isto é, área com pouco ou nenhuma intervenção antrópica, no caso do experimento em questão, a área utilizada havia sido manuseada por mãos humanas há mais de 15 (quinze) anos, fator que proporcionou aspectos quase que originários com vegetação do tipo caatinga em condições de recuperação satisfatória, levando o solo a boas condições para manuseio, sem a necessidade de muita intervenção, visto que seu período de pausa proporcionou-lhe essas condições ver fotos em anexo.

Após a seleção do terreno, realizou-se o cercamento do mesmo com cerco do tipo pau a pique, utilizando madeira morta e pião manso, para proporcionar um microclima razoável a manutenção das culturas testadas, a cerca de pau a pique proporciona uma quebra dos ventos, amenizando o calor e proporcionando um melhor conforto térmico e o pião manso por sua capacidade de desenvolvimento logo proporciona melhorias no clima dentro da área, isto por proporcionar sombra em áreas afastadas sem prejudicar o desenvolvimento das culturas testadas e, ao mesmo tempo em que refresca um pouco a área.

Dentro do espaço escolhido e, durante a fase de produção de folhosos e leguminosas, plantou-se árvores frutíferas, estas servirão de produtoras de microclimas no tempo futuro, em média dois anos após o plantio já se tem esses resultados, o cultivo dessas árvores deve obedecer espaço suficiente para que não prejudique o cultivo das demais culturas, visto que se plantadas muito perto cobrem toda a área com suas copas e impossibilita o cultivo de outras espécies, a menos que o objetivo seja após esse período utilizar toda a área com

produção de frutas, no experimento em questão, as principais fruteiras cultivadas foram, mangueira, goiabeira, seriguela fruta do conde e graviola, essas plantas a uma distância de 2,5 (dois metros e meio) de uma a outra para evitar que suas copas cobram toda a área, e, foi tomado o cuidado de intercalar as espécies por características morfológicas a fim de evitar a cobertura total do solo.

Após esse processo, passou-se a preparação do solo para então plantar as espécies a serem testadas, na preparação do solo, utilizou-se apenas esterco de caprinos como forma de adubação e, tomou-se como medidas uma carroça, carro de mão, com capacidade para 4 (quatro) latas de estrume o equivalente a 20 (vinte) quilos, desse modo ao mover-se o solo misturou-se o esterco, na seguinte ordem: a cada dois metros de canteiros duas carroças de estrumes, misturadas com a terra e planeada para realizar o plantio, mesmo na fase 1 (um) descrito mais adiante, quando o canteiro foi definido com metragem inferior a 2 (dois) metros, o trato do terreno foi o mesmo, ou seja, preparou-se toda a área, para depois subdividir nas medidas necessárias, mas o terreno como um todo já estava preparado, e, como o solo escolhido estava em boas condições de fertilidade, não foi necessário repetir o processo de adubação, esta foi realizada apenas no momento da preparação e perdurou por todo o período sem maiores transtornos.

4.3.1 MONTAGEM DOS EXPERIMENTOS

A montagem dos sistemas foi realizada em uma única etapa, de forma que se organizou o material e montou-se os sistemas em uma estrutura que fosse possível a aferição do consumo de água diária por cada um, para isso, foram utilizadas 4 (quatro) caixas de água 2 (duas) de 500 litros e 2 (duas) de mil litros e dois tambores de 200 litros como reservatórios de água.

As duas caixas de água de 500 litros foram postas em uma base de 1,5 metros de altura e um diâmetro de 2,5 m x 1,5 m, medidas suficientes para alojar as caixas, a altura faz necessário para que a água saia por gravidade até ao sistema de irrigação, nessas caixas foram instalados os sistemas por gotejamento superficial e por microaspersão nesses sistemas foram conectados as franges com anel de vedação, foram quatro franges e quatro anéis, e seis canos de cinquenta polegadas saindo das caixas e indo até as extremidades do terreno nas extremidades do canos de cinquenta polegadas foram utilizados tampões para vedar a passagem de água e, assim, ser possível o processo de irrigação.

Imagem 1: Área e montagem dos experimentos



Fonte: autor, dezembro de 2022.

As caixas e os canos foram centralizados bem no meio do terreno para que fossem possível a distribuição dos sistemas conectados, após a centralização dos canos e suas montagens foram perfurados seis buracos, três em cada cano de vinte e cinco milímetros com broca especial para perfurar PVC, nos buracos foram colocados anéis em sistema de roscas para conectar as saídas de água, na irrigação chamadas de aranhas, nesse caso usamos seis aranhas de seis saídas cada, em cada saídas das aranhas foram conectadas, mangueiras e fitas de irrigação.

No **sistema de irrigação por microaspersão** foram conectadas nas aranhas dezoito mangueiras com quatro metros e meio somando oitenta e um metros de mangueira e a cada três metros e meio foi conectado um micro aspersor, estes conectados as mangueiras por uma haste de quinze centímetros e, com uma capacidade de cobertura de uma área de um metro e meio a dos metros a dependerem da pressão da água, foram utilizados vinte e quatro micro aspersores.

Para o **sistema de irrigação por gotejamento** foram realizados os mesmos procedimentos do sistema anterior, diferenciando que nesse caso nas extremidades das aranhas foram conectadas fitas para gotejamento, nas mesmas proporções, ou seja, dezoito fitas com quatro metros e meio somando oitenta e um metros de fitas, essas fitas possuem

micro furos que gotejam em forma de pingos água diretamente na planta, irrigando apenas a área em que a planta necessita, evitando desperdícios.

Imagem 2: Sistema de saídas de água para as plantas (aranha)



Fonte: autor dezembro de 2022.

Em ambos os sistemas, as fitas e as mangueiras são tapadas em suas extremidades com tampões específicos para tais finalidades, no entanto, porém apenas serem bem amarradas para evitar a saída de água e assim garantirem a pressão necessária para o processo de irrigação, cada sistema, utilizou uma caixa específica de quinhentos litros, ver fotos em anexo.

Para o **sistema localizado subterrâneo** foram utilizados os tambores de duzentos litros, esses foram no chão e saindo de suas bocas mangueiras, as mesmas que se utilizou no sistema para micro aspersão, sendo que nesse caso o objetivo dessas mangueiras era evitar que o tecido perdesse umidade da altura da boca do tambor até a área de serem enterradas, ou seja, nesse sistema os tambores com água receberam oito furos com brocas de dezesseis milímetros o suficiente para passar a mangueira por dentro da mangueira passou-se o tecido que desce até o fundo do tambor e segue por dentro da mangueira por dois metros e meio, medida da boca até a área de soterramento, a partir de dois metros e meio o tecido é enterrado junto as raízes das plantas e, por um processo de lixiviação e por movimentos de hidrotopismo as raízes das plantas vão absorvendo a água no pano umedecido, foram

utilizados nesse processo vinte metros de mangueira e noventa e dois metros de tecido. Sendo vinte metros do fundo do tambor até a área de soterramento e mais setenta e dois metros de tecidos soterrados na área radicular das plantas.

Ficando assim distribuído: duas caixas de quinhentos litros destinadas aos experimentos microaspersão e gotejamento superficial, dois tambores de duzentos litros destinados ao experimento localizado subterrâneo e duas caixas de mil litros como reserva para reabastecer os sistemas quando necessários.

4.4 ÁREA UTILIZADA NO EXPERIMENTO E TEMPO DE DURAÇÃO

Todo o processo de planejamento, execução e acompanhamento do experimento foi realizado a partir de abordagens teóricas, voltadas ao semiárido e as condições de produção possíveis de serem replicadas dentro das características locais e, vislumbrando a possibilidade de utilização do modelo em outras realidades, desde que realizadas as devidas adequações.

As abordagens teóricas do manejo da irrigação realiza-se desde as ciências sociais, economia, sociologia antropologia, a hidrologia, a hidráulica e sócio hidráulica (SILVAPALAN, SAVENIJE, BLOSCHL, 2012) ou ciclo hidro social (INTON, BUDDS, 2014), no entanto, de maneira holística , inter e multidisciplinarmente a metodologia de dinâmica de sistemas permite inter-relacionar variáveis das ciências sociais, ambientais e econômicas (STERMAN, 2000); os estudos realizados com essa metodologia em torno do elemento água e seus usos e interpelações ecológicas, culturais e econômicas são direcionadas: i- a questão de oferta e demanda dos recursos hídricos e sus sustentabilidade como os apresentados por Xu (2002), Elmahdí (2006), Sánchez-Román (2009), SúsNIK (2012) e Xiang (2015), na China, Austrália, Brasil e África; ii – a abordagem de como a agricultura irrigada contribui para o desenvolvimento rural sustentável, conforme analisado por Barney (1995), Shi (2005), Yurang (2013), Gies (2014) e Kotir |(2016) e, iii – na integração das variáveis sociais, econômicas, hidráulicas e culturais para a gestão sustentável da irrigação coletiva.

Tomando por base essas abordagens teóricas e, tendo por compreensão a necessidade de uso racional da água em regiões semiáridas, o modelo ora apresentado tencionou mensurar os aspectos acima descritos, analisando-os separadamente para pôr fim determinar

as variáveis determinísticas de avaliação do modelo, iniciando pela descrição e quantificação da área utilizada no experimento.

O experimento foi realizado em uma área de 250 (duzentos e cinquenta metros) quadrados, considerando 25 (vinte e cinco) metros de sobras entre os canteiros foram utilizados 225 (duzentos e vinte e cinco metros) quadrados em efetivo cultivo, distribuída em três momentos diferenciados, primeiro foi utilizado uma área de 2 (dois) metros distribuídos em canteiros de 60 (sessenta) centímetros destinados aos sistemas de irrigação na seguinte ordem: **Canteiro A** – Sistemas de irrigação localizada por capilaridade, **Canteiro B** – Sistema de irrigação por microaspersão e **Canteiro C** – Sistema de irrigação localizada superficial (gotejamento). No segundo momento utilizou-se canteiros com 2 (dois) metros ocupando uma área total de 6 (seis) metros por experimento, considerando os sistemas A, B e C e no terceiro e último momento, cultivou-se em canteiro de 75 (setenta e cinco) metros por experimento totalizando um total de 225 (duzentos e vinte e cinco) metros para os sistemas A, B e C. ver Quadro 5 abaixo.

Quadro 5– Área utilizada por fase do experimento

Fase	Área total utilizada em metros	Área por sistema em metros			Descrição
		A	B	C	
1	2	0,6	0,6	0,6	Mantida as condições de cultivo e trato para todos os sistemas
2	6	2	2	2	Foram mantidas as condições de trato, com uma leve oscilação na qualidade do solo.
3	225	75	75	75	Foram mantidas as condições de trato, com uma média oscilação na qualidade do solo, e utilizado um pouco mais de estrume.

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Para cada canteiro foram utilizadas as mesmas condições de trato cultural, manejo do solo e uso da água, considerando as condições de clima, relevo, hidrográfica, precipitação etc. para então verificar através de análise dos dados qual dos sistemas apresentaria maior eficiência no uso dos recursos hídricos, melhor produtividade e melhor ganhos de escala, as variações de solo apresentada foram corrigidas com esterco de caprino, o tempo total de realização do experimento torna-se um fator determinante para análise da eficiência, considerando as condições naturais em regiões semiáridas.

Considerando todo o período de realização do experimento, foi consumido 41(quarenta e uma) semanas e 4 (quatro) dias totalizando 273 dias, distribuídos na seguinte ordem: 14 (quatorze) semanas, 92 (noventa e dois) dias para o primeiro momento, mesma

condição para o segundo momento e para o terceiro momento foram consumidas 13 (treze) semanas e 4 (quatro) dias, ver Quadro 6 abaixo.

Quadro 6– Tempo Consumido: semanas e dias

Fase	Tempo consumido total em semanas	Tempo consumido em semanas por experimento	Tempo consumido total em dias	Tempo consumido total em dias por experimento
		Sistemas A, B e C		Sistemas A, B e C
1	41,4	14,1	273	92
2		13,3		92
3		14		89

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

O tempo total de 273 (duzentos e setenta e três dias) é referente ao tempo de preparo do solo e ao cultivo, até a fase de colheita, ou seja mesmo que algumas plantas ainda não estivesse em sua fase de maturação, a exemplo das fruteiras, foram consideradas como finalizadas e, sua contabilidade nos custos e nos resultados só foram consideradas para o terceiro ciclo de produção em um segundo ano de implantação do sistema, ver item 1.6, quando em uma proposta de simulação para uma área ampliada e para condições reais de uso do solo com eficiência de água.

4.5 CULTURAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE

As culturas utilizadas no experimento foram escolhidas por critérios de adaptação, comercialização e por já serem cultivadas na região ou ao menos possuírem potencial de cultivo com probabilidade de produção satisfatória, tendo em vista o mercado consumidor e a possibilidade de incremento na renda das famílias, visto que o experimento teve por base a verificação do potencial produtivo das culturas mediante diferentes métodos de irrigação, de acordo com a semiaridez regional e o uso eficiente de água.

A partir da identificação das principais culturas utilizadas, ver quadro 1 abaixo, pelos agricultores, foram utilizadas no experimento culturas que além de apresentarem características de palatabilidade e capacidade de incremento na renda foram considerados também critérios de adaptação e produtividade, ciclos vegetativos, adaptação climática, considerando as condições adversas do clima semiárido, pois muitas plantas possuem características como acumular reserva de água no organismo, pouco exigência pelo consumo de água para desenvolver e crescer, e, a capacidade de tomar água da atmosfera à noite.

As plantas escolhidas para o experimento apresentam características de baixo consumo de água, exceção para a palma forrageira que por suas características de sucção das

raízes e estrutura do caule acumula água em seu corpo, ainda assim, todas apresentam potencial econômico para região e são aptas a produção mesmo em condições adversas, tais condições atendem ao menos duas condições de escolha, adaptação e melhoria na renda da família produtora.

O quadro 7, relaciona as plantas cultivadas no experimento, com nome popular e nome científico e, o uso desses vegetais na alimentação humana, animal e/ou forragem que nessa última considera-se forragem, seja qual for seu uso é potencialmente incrementador da renda da família produtora, uma vez que se consumida pela família melhora um pouco a renda orçamentaria por não ir buscar no mercado tal produto e se comercializado melhora a renda orçamentaria pela entrada de recursos na constituição da própria renda.

Quadro 7 – Relação de espécies de plantas utilizadas x consumo

Nome popular	Nome científico	Uso	
		Consumo humano	Consumo animal
Abobrinha	Curcubita pepo	X	x
Amendoim	Arachis hypogoea L.	X	x
Alface	Lactua sativa	X	x
Batata Doce	Ipomoea batatas	X	x
Capim de cheiro	Cymbopogon citratus	X	x
Capim elefante	Pennisetum purpureum Schum	-	x
Coentro	cariandrusativum	X	x
Fava	Vicia Faba	X	x
Feijão de corda	Vignaunguiculata	X	x
Feijão preto	Phaseolus Vulgaris	X	x
Gergelim	Sesamun indicum L.	X	x
Jerimum	Cucurbita pepo L.	X	x
Macaxeira	Manihoto esculenta	X	x
Maxixe	Cucumis anguria	X	x
Milho	Zea mays	X	x
Palma	Opuntia fícus-indica	X	x

Fonte: dados da pesquisa, 2023

Todas as espécies cultivadas no experimento, apresentaram resultados satisfatório, tanto no consumo de água quanto na produtividade, demonstrando que há uma possibilidade real de cultivo em áreas com poucos recursos hídricos e que esse processo pode ser utilizado como potencialmente capaz de melhorar as condições de vida das famílias agricultoras, assim como ser aplicado em políticas públicas que visem sanar ou ao menos amenizar os efeitos da fome e da pobreza extrema em áreas de semiárido.

A produção nos sistemas A, B e C apresentam condições bem peculiares, fator que deve ser considerado na tomada de decisão de qual sistema utilizar, no entanto, ambos mostram-se eficientes e com fortes viés de sustentabilidade, ainda assim, percebe-se que para o produtor familiar tomar a decisão de qual sistema utilizar, é necessário a realização de uma análise dos custos de implantação, considerando o uso racional da água, comparando

com os retornos em produção e conseqüentemente os retornos econômicos, a eficiência do sistema em relação ao meio ambiente as condições sociais inerentes ao sistema e as políticas institucionais possíveis de serem utilizadas.

A eficiência dos sistemas quanto ao consumo de água, descrito no ponto 1.5 e a análise dos custos de implantação no ponto 1.6, na tabela 1, abaixo é apresentado dados como: área cultivada mínima e máxima para as condições de um modulo rural, seguindo os critérios descritos no estatuto da terra de 1964 e as leis e resoluções que tratam do assunto até o ano de 2022, ver fundamentação teórica, os critérios aqui mencionados tensionam demonstrar aspectos condicionantes ao agricultor familiar para que este seja condicionalmente capaz de acessar as políticas voltadas a sua categoria, nesse ponto cabe ressaltar que tais condicionantes podem ser acessadas a partir do PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar em suas categorias A, B e C.

Aqui é interessante ressaltar que toda a análise está na perspectiva de compreender o processo de implantação dos sistemas considerando as condições se quo non de caracterização da agricultura familiar e, este, o sistema sendo capaz de promover o desenvolvimento sustentável, atendendo aos ODS da Agenda 2030 especialmente os de número 03, 06, 11 e 17, descritos na fundamentação teórica e que servem de parâmetros para a análise aqui proposta.

4.6 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO ANALISADOS: Consumo de água e produtividade do experimento

Para análise e comparação dos resultados, tomando por base o uso da água para irrigação em regiões semiáridas, foram testados três sistemas de irrigação em três momentos diferentes, denominados aqui de três fases, necessários para testar a capacidade produtiva por sistema, o consumo de água e a eficiência deles.

Os sistemas foram localizados subterrâneo por capilaridade (A), superficial por microaspersão (B) e superficial por gotejamento (C), ambos considerados a partir das mesmas culturas, das mesmas condições climáticas, mesmo trato cultural e as mesmas disponibilidades de água e solo, ver figura 5 abaixo.

O sistema A, localizado subterrâneo por capilaridade, consta de um modelo desenvolvido por professores do IFPB em consórcio com professores da UFCG, UFPB e UEPB, vinculados ao Centro de Desenvolvimento Regional – CDR, cujo objetivo foi testar o consumo de água pelas culturas face as condições de escassez, nesse trabalho o sistema foi

adaptado para testagem do consumo de água e avaliação da sustentabilidade a partir de culturas utilizadas por agricultores regionais e que tivessem potencial real de ser replicado em unidades familiares, é um sistema que usa canos adaptados, interligados por um tecido saindo subterraneamente da fonte de água até as raízes das plantas, fornecendo a quantidade de água necessária a seu desenvolvimento com consumo menor de água dada a pouca evapotranspiração via água dos solos.

O sistema B, microaspersão, foi utilizado para medir em comparação ao sistema A o consumo de água, o desenvolvimento das plantas e a produtividade, trata-se de um sistema de mangueiras interligados micro aspersores suspensos por uma haste e que simulam a água das chuvas, nesse caso a água é jogada diretamente na área de ocupação das plantas por via aérea, o sistema apresenta maior probabilidade de evapotranspiração visto que o solo é enxarcado, ficando com uma área maior exposta ao sol.

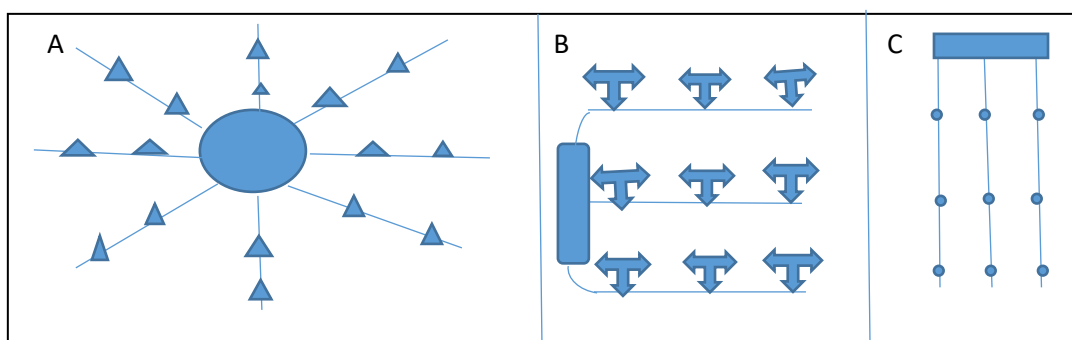
O Sistema C, localizada por gotejamento superficial, é um sistema de mangueiras perfuradas que gotejam água diretamente na base radicular das plantas, nesse caso superficial, exposto ao sol, o que pode ocasionar maior evapotranspiração; ambos os sistemas A, B e C, foram alimentados em fontes de água previamente montadas para medir o consumo das mesmas e, foram divididos em fazes para facilitar a coleta de dados e análise dos mesmos em tempos diferentes em situações iguais ou muito próximas para testar a real capacidade de replicação dos experimentos com famílias agricultoras em regiões semiáridas.

O experimento foi testado em três momentos, denominados de fase, cada fase apresentou suas particularidades mas com objetivos específicos, na primeira fase o propósito foi verificar a funcionalidade de cada sistema e testa em uma quantidade e variedade mínima de culturas, verificando a funcionalidade dos mesmos e vendo a possibilidade de ampliação; na segunda fase, os sistemas foram utilizados em áreas maiores, testando se as características se mantinham as mesmas da primeira fase e verificando a produção e sua capacidade de utilização se apenas consumo ou se já seria possível comercializar alguma coisa; na terceira e última fase, o experimento foi ampliado para uma escala com características comerciais, para verificar sua eficiência e se a produção daria os retornos esperados, nos parágrafos seguintes são descritos cada fase, assim como a ampliação da área e consequentemente a diversificação de culturas cultivadas.

Na **primeira fase** para o sistema A foram feitos 8 (oito) furos na parte superior do recipiente para colocar 8 (oito) pavios de tecido com 45 (quarenta e cinco) centímetros de comprimento afim de servir de conduto da água do recipiente até as raízes das plantas, para

o sistema B foram utilizadas mangueiras com 45 (quarenta e cinco) centímetros de extensão de igual modo as mangueiras do sistema de irrigação localizado superficial ao logo dos pavios e das mangueiras foram plantados 15 (quinze) sementes de amendoim, 1 (um) gramas de sementes de Gergelim, 1 (um) gramas de sementes de coentro e 1 (um) gramas de sementes de alface em proporção iguais para analisar o consumo de água, nessa fase do experimento não foram utilizadas as demais cultivares, visto que nesse momento o objetivo pautava-se na verificação da eficiência dos sistemas ao longo de todo o ciclo de vida das cultivares.

Figura 3 – Esquema dos sistemas de irrigação testados – protótipo



A – Sistema localizado por capilaridade; B – Sistema por microaspersão e C – Sistema localizado superficial (gotejamento). Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

O propósito linear do experimento foi nortear condições de querendo, a família agricultora obter algum recurso da pequena gleba de terra que lhe for pertencida, porque o nível de vida do homem do Nordeste necessita de incrementos na política nacional que possibilite sua elevação aos níveis nacionais, para isso em primeira instancia discute-se a possibilidade de ampliação da superfície lavrada, que atingindo meio hectare ‘per capita’ e com um certo nível de tecnologia daria tal garantia (DUQUE, 1973).

Em se tratando de produção com viés na agroecologia e/ou tendo em vista os pressupostos do desenvolvimento sustentável é mister entender que a ampliação da área cultivada traz sempre maiores impactos ao meio ambiente e, assim sendo não é uma prática viável aos conceitos de sustentabilidade, sendo sempre interessante optar por melhoria na produção a partir de implantação de tecnologias que promovam melhoria na produção sem que seja necessário o aumento da área cultivada.

A proposta de um desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável não somente diz respeito a como se deve utilizar os recursos naturais, mas também em que nível se deve aproveitá-los, e essa é uma questão essencialmente inerente a macroeconomia. Em outras palavras, a tentativa de estabelecer algum procedimento em nível de contabilidade

social para estimar o impacto em termos agregados do uso dos recursos naturais, deve como consequência resultar em novas formas de cálculo da renda e de seus agregados (MOTTA, 1995 p,7).

Uma forma de mensurar os agregados macroeconômicos a partir dos conceitos de desenvolvimento sustentável, pensando a partir do equilíbrio geral, pode ser realizado a partir do Sistema de Contas Econômicas Ambientais, cujos parâmetros serviram de base para a constituição do modelo de avaliação proposto nesse trabalho, cujo método avaliativo é orientado por um conjunto de tabelas que permite estudar as interações entre o meio ambiente, a economia, a sociedade e as instituições.

Para tanto, montou-se o experimento desenvolvido em três fases conforme já mencionado, cujo objetivo foi obter informações para montagem das tabelas necessárias a montagem do modelo, tabelas que passaram a ser demonstradas a seguir e com dados de preparação, montagem e comercialização a fim de fornecer dados que compreendam todo o processo da cadeia produção em uma produção de base familiar com uso de água de forma racional em região semiárida. A fase um, descrita acima, perdurou por três meses, considerando a preparação do terreno, da área total, e o período de montagem, plantação, trato e colheita das culturas dos canteiros experimentais, cujos resultados de produção e consumo.

O consumo de água encontra-se descrito na Tabela 5, nessa fase não foram cultivadas as frutíferas, visto que o objetivo era entender o funcionamento dos sistemas e a capacidade desses de irrigarem as plantas.

Tabela 5 – Consumo de água x produtividade nos canteiros experimentais da fase 1

Experimento	Culturas/plantação		Dias de observação/Consumo de Água em Litros		Produção em g.
	Espécie	Quant. Plantada	Dias	Quant. de água utilizada em litros	
A	Amendoim	5 g.		357	720 g.
	Gergelim	1 g.			10 g.
	Coentro	1 g.			250 g.
	Alface	1 g.			450 g.
Total	-	8 g.			1.430 g.
B	Amendoim	5 g.	92	555,9	975 g.
	Gergelim	1 g.			11 g.
	Coentro	1 g.			320 g.
	Alface	1 g.			500 g.
Total	-	8 g.			1.806 g.
C	Amendoim	5 g.		513,5	970 g.
	Gergelim	1 g.			15 g.
	Coentro	1 g.			500 g.
	Alface	1 g.			502 g.
Total	-	8 g.	92	1.426,4	1.987 g.

Total Geral	-	24 g.	92	1.426,4	5.223 g.
--------------------	---	-------	----	---------	----------

Fonte: Dados da pesquisa, agosto a outubro de 2022.

Em termos absolutos e, pelos dados da tabela acima, ocorre uma diferença de 198,9 (cento e noventa e oito virgula nove) litros de água de consumo em 92 (noventa e dois) dias de observação do sistema A para o B e 156,5 (cento e cinquenta e seis virgula cinco) litros de água do sistema A para o C, evidenciando a eficiência do sistema A em comparação aos Sistemas B e C, em termos de produção tem-se uma diferença de 386 (trezentos e oitenta e seis) gramas de diferença entre o sistema A e o B e, 567 (quinhentos e sessenta e sete) gramas de diferença entre os sistemas A e C, já entre B e C a diferença é de 181 (cento e oitenta e um), gramas, por se tratar de uma fase de testes experimentais, para verificar as condições de funcionamento dos sistemas não houve comercialização, e uma segunda etapa foi iniciada, considerando uma área um pouco maior, mas com viés de produção para consumo da família, ainda sem desenvolver a ideia de comercialização do excedente.

Após conclusão da primeira fase, iniciou-se a **segunda fase**, onde foram cultivadas as mesmas culturas em uma escala um pouco maior, o suficiente para o consumo de uma família com média de 5 (cinco) membros, nessa fase foram cultivados canteiros medindo 2 (dois) metros de comprimento por 1 (um) metros de largura, ocupando uma área de 8 (oito) metros quadrados de área plantada, ver tabela 6, manteve-se as mesmas condições da primeira fase, modificando-se apenas a área e a quantidade plantada.

Tabela 6 – Consumo de água x produtividade nos canteiros experimentais da fase 2

Experimento	Culturas/plantação		Dias de observação/Consumo de Água em Litros		Produção em g.
	Espécie	Quant. Plantada	Dias	Quant. de água utilizada	
A	Amendoim	30 g.	92	875	2.340 g.
	Gergelim	3 g.			50 g.
	Coentro	3 g.			6.500 g.
	Alface	3 g.			3.500 g.
Total	-	39 g.			12.390 g.
B	Amendoim	30 g.	92	1.717	2.700 g.
	Gergelim	3 g.			70 g.
	Coentro	3 g.			6.900 g.
	Alface	3 g.			3.800 g.
Total	-	39 g.			13.470 g.
C	Amendoim	30 g.	92	2.025	2.820 g.
	Gergelim	3 g.			73 g.
	Coentro	3 g.			6.700 g.
	Alface	3 g.			4.000 g.
Total	-	39 g.	92	4.617	13.596 g.
Total Geral		117	92	4.617	39.453 g.

Fonte: dados da pesquisa, outubro a dezembro de 2022.

Em termos absolutos e, pelos dados da tabela acima, ocorre uma diferença de 842 (oitocentos e quarenta e dois) litros de água de consumo em 92 (noventa e dois) dias de observação do sistema A para o B e 1.152 (mil cento e cinquenta e dois) litros de água do sistema A para o C, evidenciando a eficiência do sistema A em comparação aos Sistemas B e C, em termos de produção tem-se uma diferença de 1.080 (mil e oitenta) gramas do sistema A para o B e, 1.206 (mil duzentos e seis) gramas do sistema A para o C, do sistema B para o C a diferença foi de 126 (cento e vinte e seis) gramas; concluída essa fase, passou-se a terceira e última fase de experimentação, na qual a ideia central é a possibilidade de consumo agregada a excedente para comercialização, vislumbrando a possibilidade de querendo a família se manter na propriedade e obtendo renda, com possibilidade de alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável descrito na Agenda 2030.

Os resultados obtidos na fase um e dois, demonstram a eficiência dos sistemas, no que diz respeito a adequação dos mesmos para a realidade de famílias residentes no Cariri Oriental Paraibano e regiões semelhantes, considerando clima, solo e de hidrografia, assim como ao tempo de implantação dos sistemas e o retorno econômico, sendo estes potencialmente capazes de melhora as condições de vida das famílias e assim sendo as relações sociais existentes no meio, e, por terem sido montados sistemas dentro dos princípios de agroecologia e uso eficiente de água em região semiárida, os mesmos demonstra-se adequado aos objetivos da Agenda 2030, especialmente aos de números 3, 6, 11 e 17.

A partir dos resultados obtidos nas fases um e dois do experimento, descrito acima, e as possibilidades reais de implantação por famílias residentes em regiões semiáridas, passou-se a terceira e última fase do experimento, mantendo-se as mesmas condições descritas nas fases anteriores, o experimento foi aumentado para $\frac{1}{4}$ de hectare e, considerando os espaços não cultivados efetivamente entre um canteiro e outro, assim como a áreas utilizadas por vegetação para produção de microclimas essenciais ao cultivo, foram efetivamente cultivados 225 (duzentos e vinte e cinco) metros quadrados, ou seja de $\frac{1}{4}$ de hectare deixou de ser utilizado com plantas comestíveis e assim sendo comerciáveis, 25 (vinte e cinco) metros, que foi essencial a produção visto que serviu para a produção de vegetação produtora de serviços essenciais aos canteiros, para a produção de microclima foram utilizadas duas espécies pião manso (*Jatropha curcas*) e marmeleiro (*Cydonia oblonga*), por serem de rápido crescimento e fáceis de manuseio, mas que a longo prazo, pode se utilizar para essa finalidade árvores frutíferas.

Para a **terceira fase**, acrescentou-se algumas outras variedades de cultivares, descrita na tabela 7 abaixo, cujo objetivo foi identificar a capacidade dos sistemas estudados em produzir a partir das mesmas condições já testadas outras cultivares e verificando a adequação dos sistemas na economia de água, quantidade produzida, a eficiência no manuseio dos mesmos e a capacidade de comercialização da produção excedente.

Tabela 7 – Consumo de água x produtividade nos canteiros experimentais da fase 3

Experimento	Culturas		Consumo de Água em Litros		Prod. em g.
	Espécie	Quant. Plantada	Dias	Quant. de água utilizada	
A	Abobrinha	20 g.	89	1.399	6.780 g.
	Amendoim	50 g.			3.525 g.
	Alface	4 g			895 g.
	Banana	5 un.			-
	Batata Doce	30 g.			4.600 g.
	Coco	5 un.			-
	Caju	2 un.			-
	Cebola	1 g.			1000 g.
	Coentro	4 g.			3.250 g.
	Gergelim	5 g.			175 g.
	Fava	250 g.			1.000 g.
	Feijão de Corda	250 g.			3.000 g.
	Feijão Carioca	250 g.			3.500 g.
	Milho	250 g.			20.800g
	Goiaba	1000 g.			-
	Limão	8 um.			-
	Laranja	8 um.			-
	Mamão	8 um.			-
	Maxixe	-			2.500 g
	Maracujá	8 um.			-
Melancia	8 g.	4.000 g.			
Macaxeira	10 um.	6.000 g.			
Pimentão	8 g.	2.000g.			
Total	-	-			61.850 g
B	Abobrinha	20 g.	89	2.349	6.820 g. g
	Amendoim	50 g.			3.600 g.
	Alface	4 g			980 g.
	Banana	5 un.			-
	Batata Doce	30 g.			4.800 g.
	Coco	5 un.			-
	Caju	2 un.			-
	Cebola	1 g.			1.010 g,
	Coentro	4 g.			4.100 g.
	Gergelim	5 g.			175 g.
	Fava	250 g			1.000 g.
	Feijão de Corda	250 g.			3,020 g
	Feijão Carioca	250 g.			3.570 g
Goiaba		-			

	Limão	1000 g.			-
	Laranja	8 un.			-
	Mamão	8 un.			-
	Maxixe	-			2.820 g.
	Milho	250 g.			20.800 g.
	Maracujá	8 un.			-
	Melancia	8 un.			4.050 g.
	Macaxeira	8 un.			5.890 g.
	Pimentão	10 un.			2.085 g.
Total	-				64.687 g.
	Abobrinha	20 g.			6.720 g.
	Amendoim	50 g			3.620 g.
	Alface	4. g.			1.050 g.
	Banana	5 un.			-
	Batata Doce	30 g.			5.052 g.
	Coco	5 un.			-
	Caju	2 un.			-
	Cebola	1 g.			1.040 g.
	Coentro	4 g.			4.102 g.
C	Gergelim	5 g.	89	3.376	350 g
	Milho	250 g.			20.800 g.
	Feijão de Corda	250 g.			3.030 g.
	Feijão Carioca	250 g.			3.500 g
	Goiaba	5 un.			-
	Limão	15 un.			-
	Laranja	8 un.			-
	Mamão	8 un.			-
	Maracujá	8 un.			-
	Maxixe	-			2.815 g
	Melancia	8 un.			4.352 g.
	Macaxeira	10 un.			6.350 g
	Pimentão	10 g.			2.502 g.
Total	-			7.124	65.283 g.
Total Geral	-		-	7.124	191.820 g.

Fonte: dados da pesquisa, janeiro a abril de 2023.

Ao observar os dados da Tabela 8, verifica-se uma diferença de 950 (novecentos e cinquenta) litros de água de consumo em 89 (oitenta e nove) dias de observação do sistema A para o B, do sistema A em relação ao sistema C a diferença foi de 1.977 (mil novecentos e setenta e sete) litros e do sistema B para o sistema C de 1.027 (mil e vinte e sete) litros, em qualquer- situação, em termos de consumo de água o sistema A é mais eficiente, em termos de produção tem-se uma diferença de 2.837 (dois mil oitocentos e trinta e sete) gramas o que vale a 2,8 (dois virgula oito) quilos do sistema A para o sistema C a diferença foi de 3.433 (três mil quatrocentos e trinta e três) gramas o equivalente a 3,4 (três virgula quatro) quilos e do sistema B para o Sistema C, tem-se uma diferença de 596 (quinhentos e noventa e seis) gramas, equivalente a 0,5 (zero virgula cinco) quilos. Considerando o consumo de água e a pequena diferença produtiva entre os sistemas, mesmo sendo o sistema C, com uma leve oscilação ascendente na produção, por ser um valor em quilos abaixo de dez, o sistema A é

o que apresenta melhor propensão a sustentabilidade, em comparação aos demais sistemas, em separados, e comparados entre si, todos apresentam propensão a sustentabilidade.

A concepção de sustentabilidade, pelo sentido acima descrito, emerge a partir da ideia de mensurar a atividade, para então propor a confecção do modelo, que se bem definido pode auxiliar na escolha de políticas públicas e ou institucionais que movam-se em direção ao alcance da sustentabilidade, através da criação de conexões entre o atual estágio de desenvolvimento e o estado sustentável futuro em consonância com a agenda 2030; para tanto, e para que o modelo seja razoavelmente capaz de avaliar o nível de sustentabilidade, aspectos como: custos indicadores e parâmetros sejam capazes de fornecer dados aceitáveis de manutenção das condições originárias do ambiente, possibilitando o uso dos recursos pelas gerações presentes sem comprometer a possibilidade de uso desses mesmos recursos pelas gerações vindouras, assim, os itens a seguir se propõem a oferecer condições de análise dos sistemas para então validá-los como sustentáveis ou não.

4.7 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS

Para avaliar a eficiência técnica dos sistemas foi necessário compreender o processo de implantação dos mesmos, avaliar a capacidade dos agricultores de manuseá-los e dimensionar as possibilidades de decisão com os menores custo e melhores resultados, para isso foi elaborado um sistema de análise econômica dos custos e benefícios da implantação dos Sistemas, a partir da operacionalização do Custo Operacional Efetivo (COE); do Custo Operacional Total (COT) e do Custo Total (CT), operacionalizados a partir dos parâmetros da Margem Bruta (MB); a Margem Líquida (ML) e a Lucratividade (L), identificando a eficiência do sistema, partindo do orçamento, implantação e resultado do sistema, comparando estes as possibilidades de investimento em pelo menos um espaço diferente para servir de base de análise na tomada de decisão, ver Tabela 8 abaixo.

Tabela 8. Orçamento do custo de produção de ¼ de hectare destinado a produção de verduras, hortaliças, e legumes em sistemas de irrigação.

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANT.	VALOR UNITÁRIO R\$	TOTAL
1.MÃO DE OBRA E SERVIÇOS				<u>930,00</u>
Preparação da área	h/d	0,0	75,00	0,00

Separação da área por sistema	h/d	0,0	30,00	0,00
Abertura de buracos para a cerca	h/d	0,0	30,00	0,00
Adução de fundação da horta	h/d	0,0	30,00	0,00
Seleção e tratamento de mudas	h/d	0,0	30,00	0,00
Plantio	h/d	0,0	30,00	0,00
Capinas	h/d	5,0	30,00	150,00
Seleção das mudas	h/d	2,0	30,00	60,00
Reposição: água e mudas	h/d	2,0	30,00	60,00
Manutenção do sistema	h/d	3,0	30,00	90,00
Tratamento dos vegetais	h/d	9,0	30,00	270,00
Outros custos inerentes	h/d	10,0	30,00	300,00

2.INSUMOS

Mudas/população	Um	222	0,00	0,00
Esterco de curral	Kg	100,0	3,00	300,00
A cal*	Ton	3,0	0,00	0,00
Sementes*	Kg	222,0	0,50	111,00
Fertilizantes verdes*	Kg	222,0	0,40	88,80
Adubo verde*	Kg	50,0	1,40	70,00
Água	L	13.167,4	00,00	00,00
Inseticidas a partir de ninho	L	1,5	80,00	120,00
Fungicida natural a partir de ninho	Kg	2,0	8,00	16,00
Detergente neutro	L	0,0	2,00	0,00
Gasolina	L	30	5,68	170,40

876,20**Custo Operacional****1.806,20**

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Notas:

- 1 - Espaçamento: 3,00 x 3,00 m
- 2 - Sistema de plantio: sulco / canteiros
- 3 - Stand: 222 plantas
- 4 - Trator de pneus de 62 cv
- 5 - 15 kg de esterco por cova
- 6 - h/tr: hora de tratoragem
- 7 - h/d: homem ao dia
- 8 - um: unidade
- 9 - ton: tonelada
- 10 - kg: quilograma
- 11- L: litro

Observa que o custo oriundo de mão de obra e serviços foi de R\$ 930,00, o custo com insumos atingiu R\$ 876,20 e, totalizando, o custo operacional de R\$ 1.806,20, para uma área de $\frac{1}{4}$ (um quarto) de hectare.

Cabe fazer menção que a análise foi realizada para implantação de culturas diversas (policultura) realizado a partir da manutenção de todos os sistemas. Com preços vigentes de mercado na aquisição dos componentes. O resultado alcançado do Custo Operacional foi na ordem de R\$ 1.806,20.

A aplicação dos custos de produção em estágios diferentes de cultivo – implantação do sistema de modo geral, conduzida registram informações que possibilitam análises comparativas no diferencial dos gastos, como também, a serem utilizados em confrontos com a receita líquida obtida em períodos de retirada de produtos (considerando o sistema como um todo) sequencial, estimando-se assim, as possíveis recuperações dos investimentos.

Em se tratando da produção e utilizando condições de comercialização vigente no mercado, quantificou-se a produção em termos de vendas na ordem apresentada na tabela 10 abaixo, tendo como pressuposto a ida do agricultor ao mercado para comercialização da produção, ver Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Receita bruta da venda dos produtos

<i>Item</i>	<i>Unid. Medida</i>	<i>V.unit. R\$</i>	<i>Quant.</i>	<i>V. Total em R\$</i>
<i>Abrobinha</i>	KG	4,20	23	96,60
<i>Amendoim</i>	KG	9,50	10,7	101,65
<i>Batata doce</i>	KG	5,00	14,5	72,50
<i>Cebola</i>	KG	5,50	3,05	16,77
<i>Coentro</i>	KG	6,50	11,5	74,75
<i>Feijão de Corda</i>	KG	10,00	9,05	90,50
<i>Feijão carioca</i>	KG	10,00	10,57	105,70
<i>Fava</i>	KG	10,50	2	21,00
<i>Gergelim</i>	KG	24,90	0,7	17,43
<i>Gerimum</i>	KG	5,20	85	416,00
<i>Macaxeira</i>	KG	7,30	18,20	132,86
<i>Milho</i>	KG	45,00	62,40	2.808,00
<i>Maxixe</i>	KG	2,50	8,15	22,82
<i>Pimentão</i>	KG	8,50	12,40	105,40
<i>Melancia</i>	KG	6	25	150,00
<i>Folhosos</i>	KG	2,50	2,9	7,25
				4.239,23

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Ao observar os custos e a receita, verifica-se que os custos operacionais foram de R\$ 1.806,20 (um mil oitocentos e seis reais e vinte centavos) e a receita bruta foi de R\$ 4.239,23 (quatro mil duzentos e trinta e nove e vinte e três centavos) apresentando um saldo de 2.433,03 (dois mil quatrocentos e trinta e três e três centavos), considerando que trata-se dos resultados do primeiro ciclo, entende-se que a atividade é rentável, visto que há um probabilidade significativa de recuperação do capital investido e ganhos de escala¹.

¹¹ Considerando economia de escala, a que organiza o processo produtivo de forma que se alcance à máxima utilização dos fatores produtivos envolvidos no processo, procurando como resultado baixos custos de produção e o incremento de bens e serviços. Tem-se ganhos de escala quando ocorre um aumento na produção, comercialização ou prestação de serviços sem que ocorra aumento proporcional aos custos, fazendo com que o custo médio seja mais barato e assim gerando redução de custos e aumentando a lucratividade.

Nesse sentido, é fundamental entender a sustentabilidade do sistema, considerando seus diversos aspectos, no ponto de vista da sustentabilidade do sistema, tendo este como o que sobrevive ou persiste no tempo sem alterar os ecossistemas e respeitando as dinâmicas sociais (CONSTANZA; PATTEM, 1995), o sucesso no manejo dos recursos naturais requer um trabalho interdisciplinar, de igual modo com a participação do Estado nos diversos níveis, e a colaboração de todos os envolvidos no processo (GLAVI; LUKMAN, 2007), a sustentabilidade dos sistemas de irrigação dependem da disponibilidade de água destinada para essa finalidade que por si só está em função de fatores como mudanças climáticas, o crescimento da população, mudanças no ecossistema e tipo de produção agrícola.

4.8 CONSTITUIÇÃO DO MODELO (PARÂMETROS DE ANÁLISE)

4.8.1 PROJEÇÃO DE CUSTOS PARA A PRODUÇÃO AGRÍCOLA PARA UM HECTARE, CONSIDERANDO O PERÍODO DE UM ANO

A irrigação é um sistema relativamente complexo, que interage com a sociedade, a natureza e a infraestrutura física, isto posto para que o sistema atinja a sustentabilidade, o enfoque da gestão dos sistemas, ainda em construção, incorpora dimensões e princípios da sustentabilidade, tais como: a dimensão ambiental, a social, a econômica, a política e a do conhecimento tecnológico.

Na dimensão ambiental considera-se os fatores climáticos, a oferta hídrica, a conservação das fontes hídricas, da contaminação e da disponibilidade do solo, os fatores agroclimáticos e a disponibilidade de água, são bases para o planejamento da produção agrícola e para a tomada de decisão, no que diz respeito a implantação do sistema de irrigação (MARTINEZ, 2014).

Quanto a dimensão social, a sustentabilidade necessita ser considerada sob ao menos dois aspectos, na organização para a gestão da irrigação, observando e desenvolvendo habilidades individuais é o aporte que a irrigação gera como estruturas organizacionais, gerando inovação no manejo dos sistemas, mantendo a dinâmica no contexto territorial em que esteja inserido, tendo como principal indicador a qualidade de vida, que de modo geral não é de fácil medição entre os agricultores familiares em função de particularidades locais, ambientais, econômicas e culturais, do território (GALVAN, FERNÁN, ESPEJEL, 2016).

Quanto a dimensão econômica, avalia-se se a irrigação tem destino para a produção de alimentos, a produtos de luxo, como flores, a matéria prima para a produção de energia,

pondo os territórios em risco de alcance mercantil, tornando o local, regional e/ou global sob a ótica neoliberal (BOELEN, 2014), de modo que esse critério seja considerado na tomada de decisão, para implantação dos sistemas, ainda é essencial considerar a capacidade financeira de operacionalização e manutenção dos sistemas de irrigação, sendo necessário para o agricultor familiar uma autogestão tornando-os livres da dependência estatal ou da cooperação externa (GOGIÉ, 2006). Ainda assim, ao menos inicialmente a intervenção estatal é de fundamental importância.

No que diz respeito a tecnologia, a família agricultora necessita manter uma relação harmônica em seu contexto, com viés a identidade global, gerando inovação em concordância com a realidade local (POLOMINO-SCHALSCHA, LEAMAN-CONSTANZO, BOND, 2016), de sorte que reconhecer a necessidade de uma relação intrínseca do conhecimento local com o conhecimento regional e/ou global é a condição necessária para gerar tecnologia com respeito aos contextos socioculturais, sócio naturais e socioeconômico, nesse sentido é fundamental perceber a influência do conhecimento individual sobre o conhecimento coletivo.

Quanto a gestão política, o manejo é dado por fatores endógenos e exógenos, aos fatores endógenos, todos os sistemas contém estatutos, regulamentos nos quais a gestão e tomada de decisão são políticas, e não técnicas, quando do decidir implantar ou não o sistema, nos fatores exógenos as famílias agricultoras conseguem ser atendidas por instituições não governamentais, estabelecendo espaços de diálogos como forma de reclamar direitos ao acesso, ao controle e ao uso da água.

Entendendo que em apenas um ciclo os resultados são potencialmente promovedores de sustentabilidade da atividade, é indispensável projetar os resultados obtidos para uma área maior, ao menos de um hectare e que avalie as possíveis condições de resultados para o segundo ano, visto que nesse período tem-se ao menos iniciado e concluído mais dois ciclos produtivos, condições que permitem conclusões mais precisas quando a sustentabilidade do sistema avaliada, nos aspectos descritos acima, ou seja, o sistema não será sustentável se apenas as condições econômicas responderem positivos, mas se as condições ambientais, sociais e institucionais também respondam positivamente, minimizando ao máximo os impactos ao meio ambiente e aos recursos naturais, especialmente água.

Conhecer os custos de implantação de um empreendimento minimiza os riscos e amplia as possibilidades de sucesso, uma vez que é a partir desses conhecimentos que a realização do planejamento resulta em eficiência, com ganhos de escala, melhor

produtividade e menores custos sociais, com um bom planejamento realizado a partir da identificação dos pontos positivos e negativos do empreendimento, as possibilidades de acertos são potencialmente ampliadas, sobretudo quando o meio ambiente, a sociedade e a economia são respeitados a partir de parâmetros de uso racional dos recursos, buscando especialmente a sustentabilidade ambiental, social, econômica e institucional.

O realizar o planejamento, considerando os aspectos ambientais, sociais, econômicos e institucionais, é necessário elencar elementos de cada um desses aspectos para que os resultados possam então ser mensurados, essa mensuração poderá ser realizada a partir de indicadores que tornem visível as condições dos resultados presentes e futuros, possibilitando uma melhor condição de avaliação dos resultados do empreendimento.

Para avaliar a eficiência técnica dos sistemas foi necessário compreender o processo de implantação dos mesmos, avaliar a capacidade dos agricultores familiares de manuseá-los e dimensionar as possibilidades de decisão com os menores custo e melhores resultados, para isso foi elaborar um sistema de análise econômica dos custos e benefícios da implantação dos Sistemas a partir da operacionalização do Custo Operacional Efetivo (COE); do Custo Operacional Total (COT) e do Custo Total (CT), operacionalizados a partir dos parâmetros da Margem Bruta (MB); a Margem Líquida (ML) e a Lucratividade (L), identificando a eficiência do sistema, partindo do orçamento, implantação e resultado do sistema, comparando estes as possibilidades de investimento em pelo menos um espaço diferente para servir de base de análise na tomada de decisão, ver tabela 10.

Tabela 10. Orçamento do custo de produção do segundo ano de manutenção de 1,0 hectare destinado a produção de verduras, hortaliças, e legumes em sistemas de irrigação

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANT.	VALOR UNITÁRIO R\$	TOTAL
1.MÃO DE OBRA E SERVIÇOS				<u>2.070,00</u>
Preparação da área	h/d	0,0	75,00	0,00
Separação da área por sistema	h/d	0,0	30,00	0,00
Abertura de buracos para a cerca	h/d	0,0	30,00	0,00
Adubação de fundação da horta	h/d	0,0	30,00	0,00
Seleção e tratamento de mudas	h/d	0,0	30,00	0,00
Plantio	h/d	0,0	30,00	0,00
Capinas	h/d	25,0	30,00	750,00
Seleção das mudas	h/d	10,0	30,00	300,00
Reposição: água e mudas	h/d	2,0	30,00	60,00
Manutenção do sistema	h/d	3,0	30,00	90,00

Tratamento dos vegetais	h/d	9,0	30,00	270,00
Outros custos inerentes	h/d	20,0	30,00	600,00
2.INSUMOS				885,80
Mudas/população	Um	1.111	0,00	0,00
Esterco de curral	Ton	2,0	60,00	120,00
A cal*	Ton	3,0	0,00	0,00
Sementes*	Kg	222,0	0,50	111,00
Fertilizantes verdes*	Kg	222,0	0,40	88,80
Adubo verde*	Kg	750,0	0,40	300,00
Água	L/d	10,0	3,00	30,00
Inseticidas a partir de ninho	L	1,5	80,00	120,00
Fungicida natural a partir de ninho	Kg	2,0	8,00	16,00
Detergente neutro	L	0,0	2,00	0,00
Energia elétrica	KW	714,3	0,14	100,00
Custo Operacional Anual				2.955,80

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Notas:

- 1 - Espaçamento: 3,00 x 3,00 m
- 2 - Sistema de plantio: sulco / canteiros
- 3 - Stand : 1.111 plantas
- 4 - Trator de pneus de 62 cv
- 5 - 15 kg de esterco por cova
- 6 - h/tr: hora de tratoragem
- 7 - h/d: homem ao dia
- 8 - um: unidade
- 9 - ton: tonelada
- 10 - kg: quilograma
- 11- L: litro

Observa-se que o custo oriundo de mão de obra e serviços foi de R\$ 2.070,00, o custo com insumos foi de R\$ 885,80 e, o custo operacional anual foi de R\$ 2.955,80 por sistema, considerando uma área de um hectare. É salutar observar que estes custos foram mensurados para uma cultura já implantada em boas condições de produção, considerando as mesmas condições de produção para todos os sistemas e, as mesmas condições de uso dos recursos solo, água e animais, quando for o caso, ambos os sistemas em condições favoráveis de produção, livre de maiores riscos e sinistros ambientais, isto é, em condições ótimas e em equilíbrio.

Cabe fazer menção ao registro de que uma análise estimada foi realizada para implantação de cultura diversas (policultura) no mesmo período, servindo de comparação com a manutenção de todos os sistemas. Consideraram-se os mesmos preços vigentes de mercado na aquisição dos componentes para um hectare. O resultado alcançado do Custo Operacional foi na ordem de R\$ 6.052,80, correspondendo a um acréscimo de 104,78 % em

relação ao custo operacional anual de manutenção, sendo R\$ 3.427,80 de insumos e R\$ 2.625,00 de mão de obra e serviços. Notoriamente, observa-se que os insumos também tiveram variação elevada de custo, aproximadamente, de 287%.

A aplicação dos custos de produção em estágios diferentes de cultivo – implantação do sistema de modo geral conduzida registram informações que possibilitam análises comparativas no diferencial dos gastos, como também, a serem utilizados em confrontos com a receita líquida obtida em anos de retirada de produtos (considerando o sistema como um todo) sequencial, estimando-se assim, as possíveis recuperações dos investimentos.

Os resultados referentes à depreciação e remuneração do capital investido, sendo o valor anual da depreciação superior ao valor médio anual da remuneração em 113 %. (Tabela 11).

Destaca-se que a maior remuneração, ao custo de R\$ 73,33 incide sobre o investimento em grãos, representando mais de 36,90% da remuneração. A depreciação de maior valor recaiu sobre motor, com valor anual de R\$ 180,00, ou seja, 48,55% de custos de depreciação.

TABELA 11 Mensuração dos valores de depreciação e remuneração do capital da implantação de um hectare para o Sistema de Produção com Irrigação.

ESPECIFICAÇÃO	Unidade	Qntd	Valor		Vida Útil	Depreciação	Remuneração do capital	Valor Atual
			Novo	Residual				
						-	-	
CAIXA D'ÁGUA	Ud	1	900,00	90,00	10,00	81,00	29,70	495,00
MOTOR	Ud	1	2.000,00	200,00	10,00	180,00	66,00	1.100,00
MICRO ASPERSOR	Ud	100	400,00	40,00	5,00	72,00	13,20	220,00
MANGUEIRA	M	800	500,00	50,00	5,00	90,00	16,50	275,00
AVES/MUDAS	Ud	1.111	2.222,00	222,20	-	-	73,33	1.222,10
TOTAL						423,00	198,73	3.312,10

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Observa-se o registro de margem bruta (RB) de R\$ 18.744,20², demonstrando-se que os dispêndios com os insumos e a mão de obra foram pagos e, nessa condição a atividade

² Obtida a partir da renda bruta, para o segundo ano, terceiro ciclo, pois se para ¼ de hectare a RB foi de R\$ 1.889,70, nas mesmas condições para 1 (um) hectare seria de R\$ 7.558,80, no entanto, considerando o segundo ano produtivo, terceiro ciclo, as fruteiras estariam produzindo em sua capacidade máxima, resultando em uma média de 7.500 (sete mil e quinhentos quilos) ano, comercializado ao custo médio de R\$1,88 (um real e oitenta e oito centavos), a nova Renda Bruta seria de R\$ 21.600,00, sendo acrescido a RB da produção a RB das vendas das frutíferas.

apresenta viabilidade econômica pelo menos no curto prazo, considerando-se que consegue pagar os dispêndios relacionados ao custo operacional efetivo (COE), (tabela 12).

Entre os dispêndios relacionados ao custo operacional efetivo destaca-se a capina, representando 10,26 % do custo total (CT) e, R\$ 0,031 (trinta e um milésimos de centavos) por quilo colhido.

Tabela 12. Mensuração do custo de produção de manutenção dos sistemas testados e custo unitário de 1,0 hectare estimado para os sistemas de Produção com Irrigação.

Especificação	Atividade (R\$)	Período: agosto de 2022 a abril de 2023.	
		Custo Unitário (R\$)	%
1.0 Renda³ Bruta	21.600,00		
Aves/verduras/frutas	21.600,00		
2.0 Custos de Produção			
Capina	750,00	0,031	10,26
Desbaste	300,00	0,013	4,10
Adubação de cobertura verde	90,00	0,004	1,23
Tratamento sanitário	270,00	0,011	3,69
Desfolha	60,00	0,003	0,82
Colheita	600,00	0,025	8,20
Esterco	120,00	0,005	1,64
Calcário		0,000	0,00
Sementes	111,00	0,005	1,52
Adubos verdes	88,80	0,004	1,21
Defensivos verdes	300,00	0,013	4,10
Tubulação	120,00	0,005	1,64
Fungicida (orgânico)	16,00	0,001	0,22
Outros	30,00	0,001	0,41
2.1 Custo Op. Efetivo (COE)	2.855,80	0,119	39,05
Mão-de-obra familiar	3.750,00	0,156	51,28
Depreciação	423,00	0,018	5,78
2.2 Custo Op. Total (COT)	7.028,80	0,293	96,11
Rem. Do capital circulante	85,67	0,004	1,17
Rem. Do capital investido	198,73	0,008	2,72

³ Resultado da atividade produtiva, e se expressa no conjunto de remunerações primárias, porém a despeito de assumir valores idênticos aos do produto, a renda possui, ainda outro significado. A renda indica também a variação da riqueza ou acumulação de ativos produzidos em uma economia, não devendo ser troca ou transferência de ativos, simétrico a receita. Esse princípio norteia as relações entre produção, riqueza e renda. A produção é a única fonte de variação da riqueza, essa variação da riqueza disponível para consumo ou acumulação, é a renda, não pode haver geração de renda sem produção e vice-versa. (Motta, 1995).

2.3 Custo Total (CT)	7.313,20	0,305	100,00%
3.0 Medidas de Resultado			
3.1 Margem bruta (RB-COE)	18.744,20		
3.2 Margem líquida (RB-COT)	14.571,20		
3.3 Lucro (RB-CT)	14.286,80		
4.0 Informações			
Preço Unitário de mercado (R\$/Kg)	0,90		
Custo da atividade	100,00%		
Produção de aves/verduras/frutas (Kg/ha)	24.000		
Número de plantas (ha)	1.111		
Lucro Unitário (R\$/Kg)	0,595		
Lucratividade (%)	56,14		

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Outra medida de resultado favorável obtida a partir da análise dos dados foi a Margem Líquida (ML), cuja relação ocorre entre a receita bruta (RB) menos o custo operacional total (COT), alcançou R\$ 14.571,20, demonstrando terem sido pagos os custos operacionais totais, onde fez-se a remuneração da mão de obra familiar e compensou-se os capitais empregados na atividade, considerando-se a desvalorização temporal de máquinas e dos equipamentos.

O custo incorrido na remuneração da mão de obra familiar, atingindo 51,28 % do custo total, foi o maior valor despendido na manutenção do sistema, registrando R\$ 0,156 por quilo colhido, considerando aves, verduras e frutas.

O resultado obtido de margem líquida (ML) apresenta viabilidade econômica satisfatória para a atividade em médio e longo prazo.

Considerando-se o preço médio unitário pago por quilo de R\$ 0,90 e uma produtividade de 24.000 quilos/ha, obteve-se um lucro unitário de R\$ 0,595/kg e uma lucratividade de 56,14 % pelo quilo, considerando uma população de 1.111 pés por hectare (aves/verduras/frutas). Fatores que evidencia a viabilidade econômica da atividade em médio e longo prazo, haja vista que o lucro no segundo ano de produção foi de R\$ 14.286,80 e o custo de implantação da cultura em um hectare totalizou R\$ 6.052,80.

Os resultados positivos da atividade, em parcela significativa do processo resulta da tecnologia inovadora, da capacidade resiliente dos produtores e do apoio técnico ofertados aos mesmos, isto posto pela alta habilidade dos filhos com formação quando inseridos na

atividade, especialmente aos que frequentaram e/ou frequentam universidades ou cursos técnicos.

Um outro fator explicativo para o sucesso da atividade está vinculado a proximidade com o mercado consumidor, o apoio do setor público municipal que poderá utilizar a produção na merenda escolar a partir do 30% referente ao PNAE – Programa Nacional de Alimentação Escolar em atendimento a Lei 11.947 de 16 de junho de 2009. E, além do mercado institucional, a Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento poderá buscar junto aos agricultores envolvidos no projeto acesso a mercado diversos como supermercados, açougues e feiras, em uma contante tentativa de valorizar o produto local, promovendo o desenvolvimento local com viés na sustentabilidade.

4.8.2 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade dos sistemas foi avaliada a partir de técnicas sistematizadas que possibilitaram a visualização do desenvolvimento dos mesmos, considerando que sendo utilizado por famílias agricultoras possibilite todos os participantes e a comunidade realizar intervenção, a fim de que as informações geradas no sistema sejam compartilhadas por todos os atores envolvidos.

Sendo utilizados para a produção de alimentos por famílias agriculturas, a participação da comunidade é condição ímpar no processo de avaliação, desse modo, as técnicas participativas devem ser consideradas como complementares, nenhuma será suficiente para assegurar o processo participativo, se realizada sozinha, devem ser combinadas de acordo com as necessidades e a realidade do espaço em que for executado.

A avaliação aqui realizada, ocorreu mediante as condições de desenvolvimento do experimento, no entanto, para fins de sentimentos de pertencimentos e entendimento dos possíveis impactos sociais, foram realizadas a partir da implantação dos sistemas testados com famílias agricultores, sendo necessário participar de cinco reuniões de agricultores realizadas na Associação de Moradores e Produtores do Assentamento Serra do Monte no Município de Cabaceiras, juntos estavam produtores das comunidades de Pata e Pitu, famílias produtoras que são associadas por serem oriundas daquele assentamento, a participação se deu afim de que posto em evidência, os agricultores pudessem opinar sobre a produção obtida a partir do experimento, resultando assim na conclusão de que a

participação das famílias é de fundamental importância para avaliar os sistemas em caso de implantação dos mesmos em comunidades rurais.

Um dos pontos mais importantes é a participação da família agricultora em todo o processo de implantação do sistema de produção, para avaliar essa participação, pode ser utilizada a metodologia do Diagnóstico Rural Participativo – DRP, para o qual é necessário uma série de reuniões entre agricultores, técnicos e políticos em um processo de mobilização e compartilhando conhecimentos, reconhecendo pontos positivos e negativos, planejando e avaliando as ações, essa etapa da avaliação deve ser realizada por uma pessoa de alta destreza em trabalhos de grupos e que selecione as técnicas mais adequadas ao local, aos participantes e as culturas a serem utilizadas no sistema, é importante reforçar que esse processo aqui descrito aplica-se aos sistemas em caso de estes serem replicados em comunidades rurais.

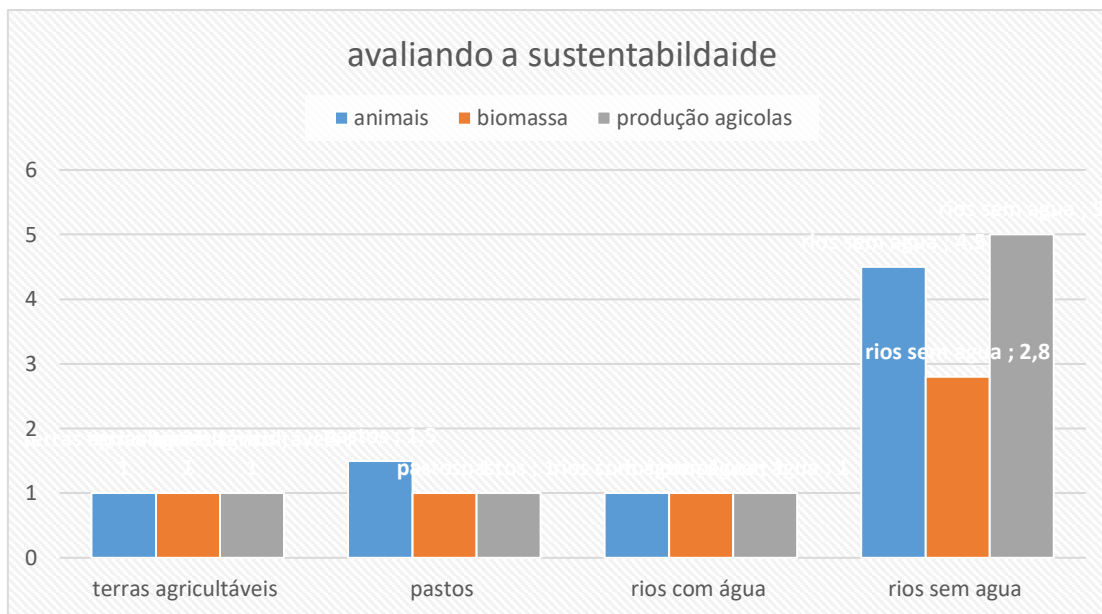
O DRP é indicado para o início do processo de implantação dos sistemas, deve ser aberto e amplo as informações, abordando problemas da comunidade de modo geral no intuito de mobilizar as forças sociais no processo de mudança, pode acontecer em qualquer escala temporal, podendo ser de curto, médio e longo prazo, na tentativa de compreensão em que o importante nesse processo é ter começo, meio e uma avaliação final, oportunizando ao grupo, especialmente a família agricultora o processo participativo na tomada de decisão.

É interessante que os participantes apresentem em forma de mapa ou descreva com precisão os recursos naturais disponíveis e os impactos das ações antrópicas sobre esses recursos, possibilitando a depender da escala temporal escolhida, planejar ações mitigadoras dos impactos a médio e longo prazo, em se tratando dos sistemas avaliados no experimento, o gráfico abaixo, fornece informações sobre os impactos sobre o meio ambiente a partir de sua implantação, o fator de impacto foi considerado em uma escala numérica de um a dez em um espaço de tempo de um ano, mesmo que o período de observação tenha sido de 273 (duzentos e setenta e três) dias, a ação sobre o meio ambiente foi considerada a partir do momento da preparação do terreno e fim dos mesmos tendo durado um ano e um mês do início ao fim.

O gráfico 6, foi elaborado a partir das observações do espaço em que foi implantado os sistemas, do momento inicial, quando ainda estágio natural, pois mesmo tendo havido ação antrópica a vegetação já estava recuperada até o momento final quando a vegetação já estava completamente transformada, considerando as mudanças ocorridas no processo, tendo como principal parâmetros as potencialidades a partir das existências de fontes naturais de água, nesse caso os rios, as terras agricultáveis etc. os resultados para a região

estudada, em particular a área já descrita no início dos resultados e discussões é que há grande número de rios temporários, o que aqui surge como perene é resultado do represamento do Rio Paraíba e Taperoá resultando no Açude de Boqueirão, este banhando uma pequena área do espaço onde o experimento foi executado, e, tendo recursos hídricos há uma significativa de cultivo da terra visto que toda a terra sendo adequada a irrigação produz com satisfação.

Gráfico 2 – visualização dos aspectos de implantação dos sistemas



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Ao observar o gráfico acima, considerando os aspectos visuais é possível observar que no início do processo de implantação havia pouca ação antrópica sobre a vegetação, o solo também estava em boas condições, com a implantação do sistema a situação se inverteu, ainda assim, os impactos não foram significativos, visto que o experimento foi realizado em $\frac{1}{4}$ (um quarto) de hectare e foi criada uma condição de microclima com vegetação nativa protegendo o entorno, condição que mesmo a longo prazo e com utilização de uma área maior os impactos seriam mitigados pelas condições de gerenciamento da atividade e os cuidados com o processo de produção e ação sobre o meio ambiente.

Com a implantação do sistema e a observação dos impactos sobre o meio ambiente e os recursos naturais montou-se uma análise estrutural, na qual elencou-se os pontos positivos e negativos, com aspectos sobre o solo, a água, o cultivo, os animais e as condições que antecederam a implantação, nesse momento considera-se a possibilidade de autogestão e controle de pragas por meios biológicos, na qual há a possibilidade de realização de ações mitigadoras a partir de aspectos de fertilidade de solo, quantidade de água no solo e

disponibilidade dessa para as plantas entre outros aspectos que podem serem considerados a partir da análise visual transversal das ações antrópicas sobre o meio ambiente.

A ação antrópica aqui mencionada foi mínima visto que se trata de um experimento em que apenas o pesquisador e mais dois ajudantes realizaram todas as atividades, mesmo assim seguindo os mesmos critérios, caso estes venham a ser replicados com famílias agricultoras os impactos são minimizados dados o uso de técnicas sustentáveis de produção, com reutilização de materiais, controle biológico e uso de espécies nativas para a promoção de microclimas o que favorece o sucesso na produção.

4.8.3 CAMINHADA TRANSVERSAL E A OBSERVAÇÃO VISUAL DO ESPAÇO DE EXPERIMENTAÇÃO






O interessante na caminhada transversal é a possibilidade de execução das ações, aqui realizada pelo pesquisador, mas que pode ser realizada por famílias, caso os sistemas sejam replicados, sendo possível também serem realizadas por toda a comunidade, já que no processo de implantação a comunidade deve ser articulada e, assim sendo mesmo os que não participaram do processo de implantação dos sistemas, são ao menos potencialmente capazes de utilizá-los e assim melhorar suas relações inter e intrapessoais, incrementar a renda e desenvolverem a comunidade.

O mapa da caminhada transversal foi feito após uma observação visual identificando os tipos de terra, a altitude dessas terras, o tipo de solo existente e a capacidade de filtragem, absorção e retenção de água das chuvas, para que a partir dessas informações fosse possível realizar a implantação do sistema sem maiores prejuízos no uso da água e dos recursos envolvidos para a obtenção de uma produção satisfatória.

No processo de avaliação visual, o interessante foi verificar os pontos positivos e negativos do terreno para implantação dos sistemas, tendo como ponto de interseção os custos e as condições naturais, para causar o menor impacto possível ao meio ambiente e obter os melhores resultados sociais possíveis, nesse aspecto, e sendo replicados com famílias agricultoras as instituições necessitam apoiar as decisões na comunidade, considerando que estas detém ao menos em potencial pessoa especializado na avaliação de impactos ambientais, e que o objetivo maior da implantação dos sistemas é o retorno favorável, a sustentabilidade dos mesmos e o respeito ao meio ambiente, aqui essas observações foram realizadas pelo pesquisador.

O quadro 8 abaixo, tenta demonstrar de forma resumida aspectos de análise visual em terrenos altos, planos e baixos com visualização dos solos, da disponibilidade de água no solo e para irrigação, compreendendo os cultivares possíveis tanto animal quanto vegetal e quem seriam as pessoas que estariam envolvidas no processo de implantação dos mesmos, assim como os aspectos visuais antes e depois da implantação, aqui toda a observação ocorreu no espaço experimentado, os terrenos altos, planos e baixos foram considerados por estarem presentes e serem potencialmente utilizáveis, no entanto, o terreno utilizado foi um parte do terreno plano existente na área.

Quadro 8 – Caminhada transversal das ações antrópicas sobre o meio ambiente.

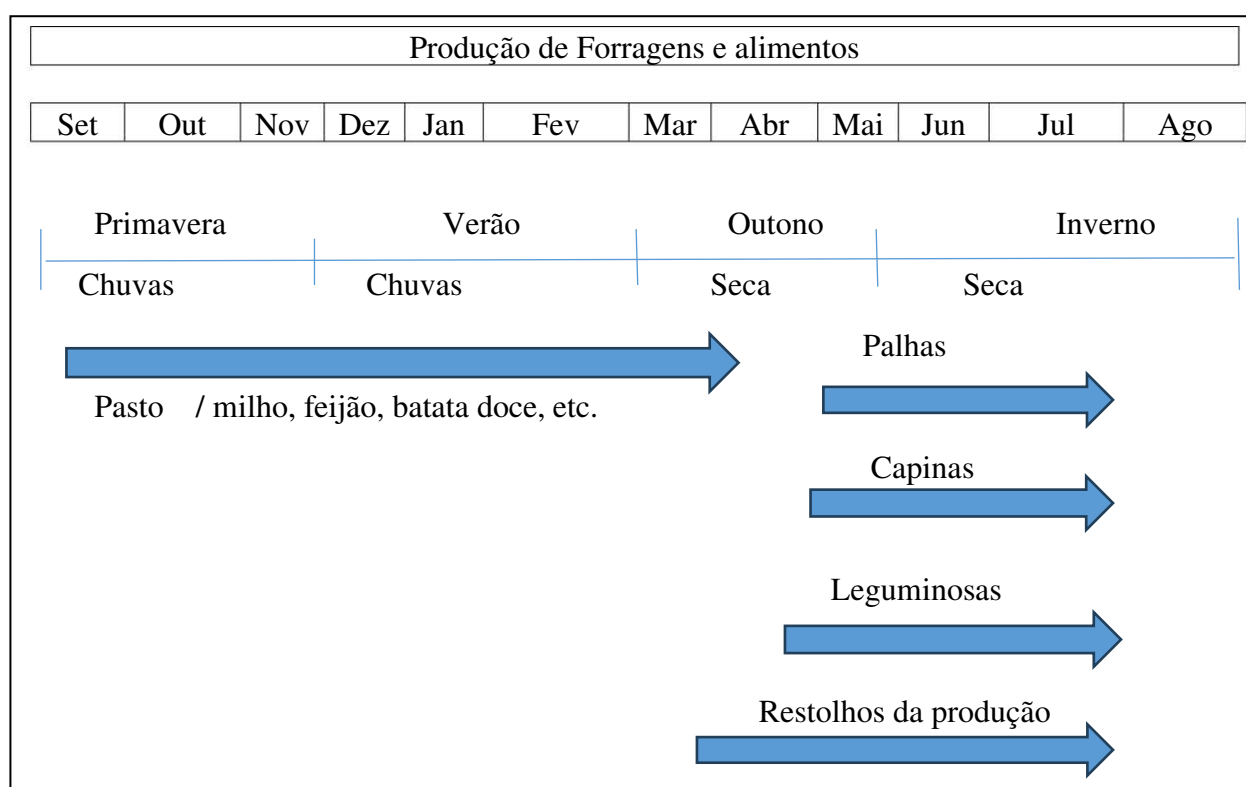
					
	Terra alta	Terra Plana	Terra baixa		
Solo	Pobre pedregoso	Terra preta macia	Terra roxa muitas pedras		
Água	Não retém muita água	Frei, encharca-se quando chove muito	Seco	Água o ano todo	
Cultivo	Pasto	Frutas e verduras	Pasto	Restolho	Frutas e verduras
Animais	Gramma para cavalos, bodes, etc.	Cabras e aves	Bois e aves	Cavalos	Porcos
Quem trabalha	Família	Família	Família	Família	Família
O que havia antes	Mata nativa (caatinga)	Animais nativos	-	-	-

Fonte: dados da pesquisa, 2023. Elaborado a partir de Mutuando (2005).

No intuito de melhor aproveitamento das condições naturais e a depender do objetivo de implantação dos sistemas, pode-se elaborar um calendário de sazonalidade, tornando-o mais eficiente em tempos de plantio, colheita, poda, parto, acasalamento de animais, melhor tempo de comercialização da produção etc. observando os períodos e datas específicas para

a região, se o objetivo de produzir for forragem consorciada com produção de alimentos por exemplo, pode-se realizar o planejamento de acordo com o gráfico abaixo, isso considerando que o sistema foi replicado com famílias agricultoras e que perdurou por mais de dois anos, quando a produção pode ser consorciada com a presença de animais, visto que esta é uma pratica comum entre agricultores familiares, a produção de alimentos de origem vegetal com alimentos de origem animal.

Gráfico 3 – Planejamento de implantação do sistema para produção de forragem em consorcio com a produção de alimentos utilizadas no experimento



Fonte: elaborado pelo autor, 2023. Adaptado de Mutuando (2005).

Ao observar o gráfico acima, e, considerando a sazonalidade da região, tem-se apenas duas estações que se pode convencionar em estação chuvosa e estação seca, inverno e verão, chuvas e secas, tendo essa percepção a elaboração do planejamento produtivo deve ser realizado a partir dessas condições, as dimensões das setas tem a ver com a maior capacidade de produção de biomassa e alimentos a partir do uso dos sistemas testados.

As palhas são na verdade os restolhos da produção de um ciclo anterior, quando da preparação do solo para reiniciar o ciclo produtivo, momento em que é necessário ter excedente acumulado para manutenção até a colheita reiniciando o ciclo, o consorcio produtivo proporciona uma espécie de pausei, descanso da área produtiva, condicionando a

terra a se recuperar em nutrientes ao mesmo tempo em que não fica improdutivo, visto que há animais sendo cultivado enquanto não se reinicia o ciclo de produção agrícola, e, nesse processo fica mais fácil identificar os gargalos do processo produtivo e assim avaliar a sustentabilidade em uma escala de tempo condicionada a sazonalidade da região.

A depender da escala temporal, a sustentabilidade do sistema pode ser avaliada a partir da montagem de um calendário histórico, que auxilia na compreensão dos processos de degradação de solos, rios, vegetação, córregos, diminuição da produtividade etc. para montar o calendário, deve-se utilizar os relatos de experiências, os dados dos órgãos oficiais, fotografias etc. aqui utilizou-se o registro fotográfico, já trata-se de um experimento de um ano, a sugestão acima mencionada está diretamente relacionada a replicação dos sistemas com agricultores familiares, nesse caso a comparação de períodos de pelo menos cinco anos, possibilita uma base de dados com um certo teor de informação, mas se elevar a escala temporal para cem anos, há a possibilidade de uma análise mais profunda dos impactos antrópicos sobre o meio ambiente, nesse caso, os sistemas avaliados devem ter maior robustez para que seja possível mensurar os impactos antrópicos sobre o meio ambiente, no entanto, aqui a visualização dos aspectos de avaliação foram realizadas sob a observação das ações antrópicas de um ano e projetadas por mais um ano a partir da área experimentada

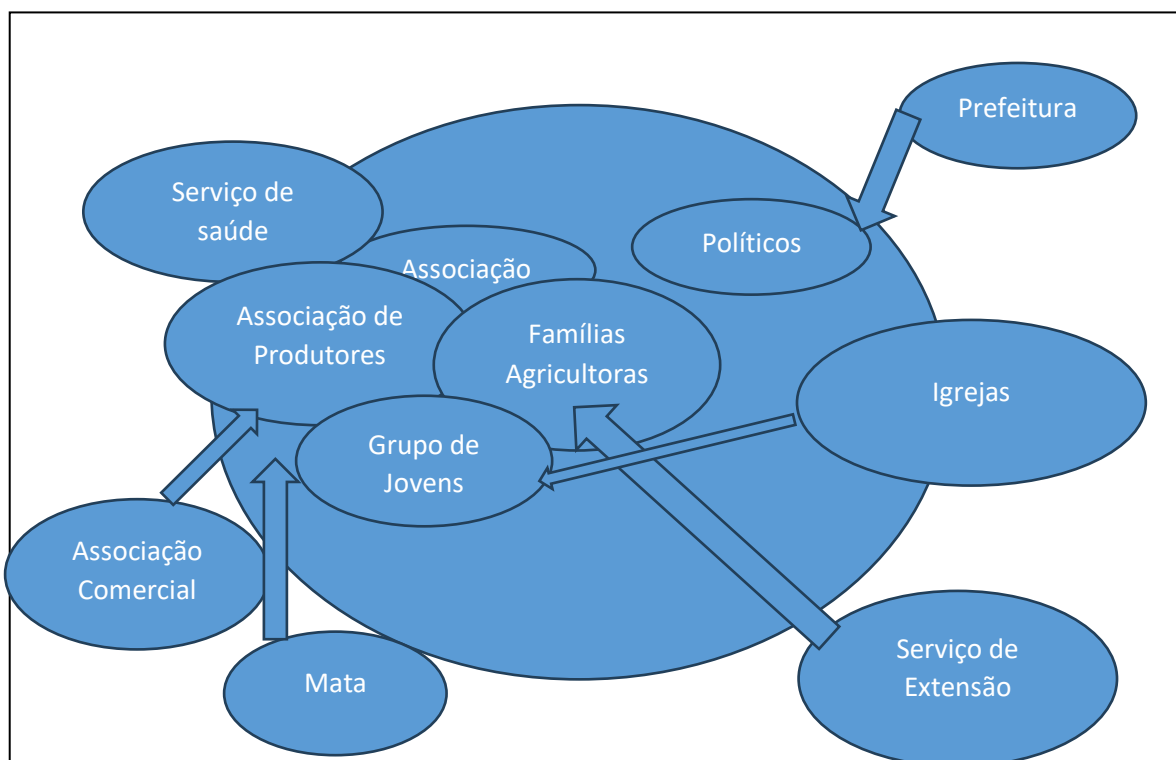
Os fatos mais relevantes podem ser sistematizados em linhas tempo, gráficos em forma de pizza, de vetores etc. para avaliar a sustentabilidade do uso da água no experimento foi considerando em escala temporal a mudança no uso do solo, e a qualidade do ambiente a partir da formação de microclima, monitorado por um período de 273 dias e, projetando os resultados para um período de dois anos, terceiro ciclo produtivo.

No aspecto intersetorial, a sustentabilidade foi avaliada considerando um diagrama de intersecções, demonstrando as relações entre pessoas, organizações e comunidade, ressaltando aspectos de proximidade, esse diagrama auxilia na identificação de pessoas e/ou grupos que possam auxiliar na resolução de problemas e se estão próximos ou não em termos políticos, ideológicos, físicos etc. nesse momento avalia-se o sentimento de pertencimento dos indivíduos ou grupos para com a comunidade e/ou região, pois a partir disso torna-se mais eficiente as ações antrópicas para com o meio ambiente, quantos mais identitários forem as pessoas envolvidas, mais empáticas serão em suas ações para com o meio ambiente, ver diagrama abaixo.

O diagrama foi montado a partir das observações do pesquisador em reuniões com associados da Associação de Moradores e Produtores do Assentamento Serra do Monte em

Cabaceiras Paraíba, para tomar por base caso os sistemas testados sejam replicados com famílias agricultoras, os dados oriundos do experimento para montagem do diagrama foram os relacionados a mata e serviços de extensão, considerando o trato dados as culturas utilizadas pelo próprio pesquisador evidenciando seus conhecimentos como cientista agrário, todos os demais aspectos existentes são referentes aos dados obtidos nas reuniões em que o mesmo esteve presente.

Diagrama 1 – Relação de empatia das pessoas para com o meio ambiente a partir do relato de experiência



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

O Diagrama demonstra que quanto mais próximas as pessoas e/ou grupos estiverem da realidade e mais empáticas forem com os problemas, mais fáceis e eficientes serão em suas ações voltadas a resolução de problemas, quanto mais próximas ao centro do diagrama as pessoas ou grupos de pessoas estiverem, mais eficientes e empáticas serão, mais ágeis são na identificação de problemas e na busca de ações mitigadoras para a resolução deles.

Identificados os problemas e as possíveis ações resolutivas, é mister elaborar uma matriz de responsabilidade que em forma de tabela apresenta as atividades e as subatividades, os responsáveis por cada atividade e a verificação do cumprimento delas. A elaboração da matriz de responsabilidade auxilia na organização das atividades, no compromisso dos indivíduos e/ou dos grupos de trabalhos.

A matriz deve ser montada com um cronograma de execução e verificação das atividades oportunizando pelo menos avaliar quanto o processo evoluiu, o que tem a evoluir, quais os gargalos a serem sanados, qual a dimensão da ação, que indicadores devem ser mobilizados para que o problema seja sanado e o mais importante quais os critérios de avaliação devem ser considerados para verificar os efeitos das ações antrópicas sobre o meio ambiente, abaixo está descrito na matriz a relação da ação antrópica e o meio ambiente em nível de experimento, em caso de estes sistemas serem implantados com famílias agricultoras a mesma pode ser adaptada considerando o relação dos envolvidos com a sociedade de modo geral, nesse caso, a observação do diagrama acima pode ser de muita ajuda.

Quadro 9 - Matriz de responsabilidade: relação de atividade e subatividade no sistema

Atividade	Subatividade	Responsabilidade	Datas											
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez.
1	Preparar e Cercar o Terreno	Pesquisador	x											
2	Preparar sementes	Pesquisador	x											
3	Semear	Pesquisador		x										
4	Montar o sistema	Pesquisador		x										
5	Regar, limpar e aplicar biofertilizantes	Pesquisador		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	Plantação	Pesquisador			x									
7	Capacitação	Pesquisador			x			x			x			
8	Reuniões de informações	Pesquisador				x				x			x	
9	Colheita da produção	Pesquisador							x	x	x			
10	Comercialização	Pesquisador							x	x	x			
11	Análise dos resultados	Pesquisador											x	
12	Planejamento para o próximo ciclo	Pesquisador											x	
13	Plantação para o novo ciclo	Pesquisador												x

Fonte: dados da pesquisa, 2023. Adaptado de (MUTUANDO, 2005).

A partir da matriz de responsabilidades, é possível em escala temporal verificar cada ação, sua execução e os efeitos dessa para com o meio ambiente, verificando as devidas dimensões e, o quanto dos indicadores envolvidos foram mobilizados, pois a partir desse momento todos os envolvidos no sistema produtivo já detêm informações o suficiente para identificar o quão o sistema é eficiente e quais seus efeitos na sustentabilidade ambiental, econômica, social e institucional, a ação coletiva aqui descrita refere-se ao processo de aplicação dos sistemas em comunidades rurais, replicado com famílias agricultoras, o estudo em questão todo o processo foi realizado pelo pesquisador com a ajuda de dois membros da família.

4.8.4 DEFINIÇÃO DOS PRINCÍPIOS, CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA, A PARTIR DO MODELO MESMIS E IDEA

A sustentabilidade dos sistemas pode ser avaliada a partir de técnicas sistematizadas que possibilite a visualização de todos os participantes e da comunidade, a fim de que as informações geradas no sistema sejam compartilhadas por todos os atores envolvidos.

A flexibilização do sistema é aspecto *se quo non* para avaliar sua sustentabilidade, nesse sentido as condições de uso e ocupação do solo, a quantidade e disponibilidade da água, as técnicas de produção e a destreza na aquisição do conhecimento são determinantes no processo de avaliação e consolidação do sistema.

A ação antrópica sobre os sistemas deve ser avaliada a partir dos ciclos produtivos, a participação dos atores envolvidos no processo, e as múltiplas escalas que essas alterações podem assumir dentro de padrões sustentáveis de produção, procurando sobretudo identificar de forma holística os limites e as possibilidades de sustentabilidade dos sistemas sob as perspectivas econômicas, ambientais, sociais e institucionais.

Como o MESMIS oportuniza a avaliação dos sistemas com um olhar agroecológico e em especial destinado a agricultores familiares, suas diretrizes serão tomadas por base para a constituição do modelo de avaliação da sustentabilidade proposto nessa pesquisa, de igual modo os elementos do IDEA, visto que as possibilidades ilustrativas de ambos são fundamentais para a compreensão do processo produtivo, a partir do viés agroecológico e, considerando aspectos do sistema como um todo.

Desse modo, os parâmetros reguladores propostos no modelo, tendem a oportunizar a avaliação da sustentabilidade, especialmente a partir dos aspectos econômicos, ambientais, sociais e institucionais. Para isso, a partir dos princípios e critérios do Modelo MESMIS

foram propostos indicadores para avaliar a sustentabilidade do sistema estudado, conforme Quadro 10.

Quadro 10: princípios, critérios e procedimentos para avaliação do sistema

Princípio	Critério	Procedimento
Produtividade	Eficiência	<ul style="list-style-type: none"> - Observar o rendimento a partir do consumo de água em litros pelo menos três vezes ao dia nas primeiras três semanas, utilizando recipiente que possibilite a medição; - Avaliar os custos e os benefícios da atividade, considerando os gastos iniciais, a manutenção e os retornos em escala; - Medir a produção em um sistema de medida eficiente para que seja possível a comparação entre os custos e as receitas.
Estabilidade, resiliência e confiabilidade	Diversidade	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar a capacidade reprodutiva das espécies cultivadas verificando por contagem em gramas, quilos ou outro sistema de medida a produção, considerando a quantidade plantada inicial, a população final e a produção; - Para a verificação do consumo de água, verificar a relação simbiótica entre as espécies, verificando se há ou não um compartilhamento de nutrientes entre as espécies e, ver a relação água-solo-planta-atmosfera no intuito de verificar a eficiência do sistema.
	Conservação de recursos	<ul style="list-style-type: none"> - Fazer análise visual do solo, da vegetação e do ambiente de forma geral, para verificar possíveis alterações e se necessário realizar correção do solo com técnicas agroecológicas; - Se julgar necessário realizar análise laboratorial, para essa ação procurar as instituições locais que possam auxiliar; - Realizar análise de produção de biomassa, fluxo de nutrientes, considerando as relações simbióticas entre as espécies; - Realizar por meio de tabelas análise do retorno de capital investido, utilizando dados da Margem Líquida (ML) e Lucratividade sobre (L) sobre o Custo Operacional Efetivo (COE), Custo Operacional Total (COT) e Custo Total (CT).
	Fragilidade do Sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar a partir de análise visual as fragilidades do sistema tais como: incidência de pragas, inconformidade do solo, escassez de recursos hídricos etc.; - Verificar junto ao mercado consumidor as tendências de consumo, as variações de preços, e assim entender as possibilidades de rendimentos em curto, médio e longo prazos.
	Distribuição de riscos	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar junto as instituições financeiras as linhas de crédito e seguros existentes para a atividade, e as políticas públicas, sociais e institucionais existentes para a região que possam auxiliar na atividade, minimizando os riscos para a família produtora.
	Qualidade de vida	<ul style="list-style-type: none"> - Acesso a saúde e a educação; - Verificar dados do Índice de Gini para a região e comparar a partir do segundo ano se houve melhorias ou não, tendo em vista a contagem oficial para esse índice; - Observar a melhoria nas condições de moradia, aquisição de itens para a casa, as condições de plantações ao entorno da casa, se com árvores proporcionando sombras, se os animais são alojados próximo ou distantes da casa etc.
Adaptabilidade	Processo de aprendizagem	<ul style="list-style-type: none"> Capacidade de repasse do conhecimento pelas instituições locais; - Disponibilidade das famílias de busca por novos conhecimentos; - Verificar o poder de gestão/liderança das famílias quando ao empoderamento, aquisição de novas tecnologias.
	Capacidade de replicação	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar se outras famílias na comunidade estão aderindo ao sistema;

		- Observar o repasse da tecnologia das famílias produtoras a outras que desejam produzir.
Equidade	Distribuição	- Identificar as etnias, os grupos sociais e o gênero para avaliar a distribuição dos sistemas nos mais diversos estratos sociais existentes na região.
	Emprego, mão de obra ocupada	- Capacidade de remunerar a mão de obra ocupada acima da linha de pobreza, observar os dados do ministério do desenvolvimento social para esse dado, pois é adaptado anualmente; - Capacidade das famílias absorverem a mão de obra de seus membros; - Avaliar a jornada de trabalho, se tem aumentado ou diminuído a partir da implantação do sistema e sua consolidação a partir do segundo ano.
Autogestão	Autossuficiência	- Observar o grau de dependência de insumos externos, a capacidade de desenvolver tecnologias sociais autocorretivas/controla biológico etc.
	Participação	Verificar a capacidade das instituições de envolverem as pessoas no processo de implantação dos sistemas e sua manutenção a partir deles; - Buscar entender a relação entre a participação dos membros da família nos assuntos da comunidade e a influência da produção/venda e circulação de recursos oriundos dos sistemas nesse processo.
	Controle	- Reconhecimento dos direitos de propriedade, diferenciação do bem público do bem privado; - Participação em eleições, acesso a justiça etc.

Fonte: adaptado de Vilain, 2008, Masera et. al. 2000; Martins e Candido 2012.

Assim, com base nos critérios acima, e tendo em vista a área agrícola cultivada por sistema, tem-se maior confiabilidade nos dados observáveis, especialmente quando são considerados os aspectos econômicos, ambientais, sociais e institucionais na avaliação tendo a taxa de reposição do reservatório este a depender das condições de uso deve atender a critérios de evapotranspiração para determinação do consumo de água pelos sistemas.

Mesmo que o sistema seja avaliado a partir do uso eficiente de água em região semiárida, aspectos de intersecção dos sistemas ecológicos necessitam serem considerados, visto que para produzir são necessários a interação de todos os elementos da natureza, tais como: água, solo, clima, incidência solar etc. de modo que quando das dimensões ambientais essas e outras relações que sejam prudentes necessitam serem inseridas na avaliação.

Quando da avaliação econômico, além dos aspectos mencionados ao longo do texto, como custos e receitas, outros necessitam serem articulados, uma vez que as relações da economia com a sociedade e com o meio ambiente é mais ampla que as consideradas aqui, de sorte que aspectos da taxa de remuneração do capital, impostos diretos e indiretos, taxa de juros e capacidade de retornos devem ser inseridos na análise, ainda deve-se considerar os aspectos, organizacional das instituições e da própria propriedade produtiva e as

condições micro e macroeconômicas envolvidas no processo e socialmente vigentes no momento da análise.

As avaliações do ponto de vista da sociedade e das instituições também necessitam de atenção especial, especialmente as regras de convivência em sociedade, as regras sociais e institucionais que regem as instituições envolvidas, os processos de terminação e repasse do poder na sociedade e nas instituições, verificando a influências dessas condições para com o bom funcionamento dos empreendimentos.

De modo geral, esses e outros aspectos necessitam serem considerados ao avaliar a sustentabilidade de um sistema, visto a complexidade de relações que se exige para fazer tal avaliação, o que não pode faltar é a definição de critérios sólidos e eficientes para o tipo de avaliação que se esteja fazendo, entendendo o momento e as condições vigentes e, considerando que se necessário, em situações futuras, adaptações são sempre necessárias.

4.8.5 DIMENSÕES ALCANÇADAS PELO SISTEMA ESTUDADO: ANÁLISE DOS ATRIBUTOS E INDICADORES NAS DIMENSÕES AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICA

Para facilitar no processo de avaliação, foi elaborado um quadro de indicadores que auxilia, observando cada dimensão que o sistema conseguiu alcançar, isto posto, pois o quadro serve de parâmetro no processo de verificação das ações e dos impactos dessas sobre o meio, de sorte que as famílias e ou a comunidade ao avaliar o sistema tomou como base os critérios do Quadro 08.

Para a atividade ser considerada sustentável, todas as dimensões devem obter pontuação satisfatória a suas condições de manutenção e/ou ao menos serem resilientes, nesse sentido, é de fundamental importância que haja clareza na tomada de decisão e, para isso os critérios para pontuar a atividade dentro do escalonamento sem prejuízo aos procedimentos devem ser claros e objetivos, nesse sentido, o Quadro 10 apresenta critérios de pontuação que validam a diversidade de comportamentos, os atributos, os critérios de diagnósticos, os indicadores e as dimensões escalonares.

De posse do quadro de avaliação, e para facilitar, é mister elaborar um conjunto de tabelas, para que em termos numéricos o avaliador ou os avaliadores tem condições de quantificar os impactos dos sistemas, assim como seus resultados em termos econômicos, sociais, ambientais e institucionais, a partir desses aspectos, avaliar o quão interligados estão

os atores envolvidos e quais seus critérios de proximidade ou afastamento, esses critérios estão melhores descritos no diagrama de relações de empatia, ver diagrama 1 na página 118.

Como o processo de desenvolvimento é caracterizado pelas mudanças contínuas, para avaliar se esse desenvolvimento é sustentável, é necessário instrumentos de avaliação simples e que possam captar periodicamente os resultados positivos e negativos das ações, a partir de instrumentos continuamente alinhados, servindo de parâmetros para possíveis ajustes ao sistema, unificando os indicadores de sustentabilidade utilizado para avaliação.

A avaliação consolida o modelo com clareza nas dimensões e determinam se os objetivos foram alcançados ou não, de sorte que, cada dimensão, seja determinística em seus critérios, para que os indicadores sejam fiéis a realidade, o uso da água por exemplo necessitar ser gerenciado e quantificado para que os resultados da produção sejam satisfatórios e, as condições de solo e clima não podem ser desconsiderados nessa discussão, uma vez que são essenciais ao bom funcionamento do sistema.

No quadro seguinte são descritos indicadores com atributos e critérios de diagnósticos, suas dimensões e as variáveis numéricas são quem indicam se o sistema é sustentável ou não, cujos meios observáveis e seus critérios de avaliação foram montados a partir dos dados colhidos e embasados nas discussões realizadas com o grupo focal, especialmente os produtores familiares das comunidades de Pata, Facão e Pitu no Município de Cabaceiras, reunidos na Associação do Assentamento Serra do monte, também foram observadas as contas econômicas ambientais, e a estrutura do IDEA e do MESMIS na montagem do quadro do sistema de avaliação do modelo.

Quadro 11: Indicadores adotados para avaliação da sustentabilidade do sistema

Atributo	Critério de diagnóstico	Indicadores	Dimensão	Escala de 1 a 5	Escala de 5 a 10
				Insustentável	Sustentável
Produtividade	Eficiência	Rendimento eficiente e energia	Ambiental	-	5,3
		Custo-benefício, investimento, produtividade do trabalho	Econômico	-	5
Estabilidade, resiliência, confiabilidade	Diversidade	Espécies manejadas, policulturas e rotação	Ambiental	-	5
		Número de sistemas implantados, grau de interação e comercialização	Econômica	-	5
		Número de etnias envolvidas no manejo	Social	3,5	-
	Conservação de recursos	Qualidade do solo e água, fluxo de nutrientes, produção de biomassa	Ambiental	-	5
		Retorno do capital investido, Margem Líquida (ML) e Lucratividade (L), Sobre o Custo Operacional Efetivo (COE), Custo Operacional Total (COT) e Custo Total (CT).	Econômica	-	5
	Fragilidade do sistema	Incidência de pragas e inconformidade do solo, recursos hídricos escassos	Ambiental	-	5
		Tendências e variações de rendimentos em escala temporal	Econômica	-	5
	Distribuição de riscos	Acesso a crédito e outros mecanismos de fomento	Econômica	-	5,8

	Qualidade de vida	Índice de qualidade de vida, escolaridade, acesso a saúde e educação	Social	-	5
Adaptabilidade	Processo de aprendizagem	Capacitação e formação dos integrantes, poder de gestão	Social	-	5
	Capacidade de inovação (replicação)	Evolução do número de produtores por sistemas, geração do conhecimento	Social	-	5
Equidade	Distribuição 5	Beneficiários por etnia, gênero e grupo social	Social	1	-
	Emprego, mão de obra empregada	Demanda por trabalho, jornada de trabalho, remuneração do trabalho	Econômica	-	5
Autogestão	Autossuficiência	Grau de dependência de insumos externos	Ambiental	-	5
	Participação	Envolvimento dos participantes no projeto	Social	-	5
	Controle	Reconhecimentos dos direitos de propriedade, conhecimento da realidade local	Social	-	5
		Participação em eleições, acesso a justiça, transferências institucionais do governo federal	Político institucional	-	5

Fonte: Martins et. al. (2017) adaptado.

Para avaliar a sustentabilidade dos sistemas usou-se como critérios escalonar pontuação de 1 (um) a 5 (cinco) como sendo insustentável e acima de 5 (cinco) como sendo o sistema sustentável, conforme descrito na metodologia, considerando os atributos e para cada atributo atribuiu-se critérios de diagnósticos enquadrando estes nas dimensões ambiental, econômica e social, ver quadro 10, este por sua vez demonstra a sustentabilidade dos sistemas, pois em todas as dimensões a pontuação foi acima de 5 (cinco) exceto na dimensão social do atributo estabilidade, resiliência e confiabilidade os sistemas pontuaram abaixo de 5 (cinco) assim como na dimensão social do atributo equidade, demonstrando que apenas nessas duas situações os sistemas apresentaram-se insustentáveis, mesmo assim não compromete a sustentabilidade, pois mediante os resultados positivos esses dois fenômenos isolados não põem em risco a sustentabilidade dos mesmos.

Considerado a sustentabilidade dos sistemas testados, e tendo o uso da água em relação a produtividade como parâmetros e, de acordo com os itens 9.6 a 9.8, assim como observando o quadro 8, os resultados em níveis de Produtividade; Estabilidade, resiliência, confiabilidade; Adaptabilidade, Equidade, Autogestão podem assim serem descritos:

- Produtividade: os rendimentos produtivos foram satisfatórios ocorrendo produção satisfatória em todas as culturas utilizadas, gerando uma relação positiva no requisito custo/benefício, possibilitando melhoria na qualidade de vida das pessoas da comunidade, caso este seja replicado, pois em nível de experimento tanto a produção como a comercialização apresentaram resultados positivos;
- Estabilidade: quanto a estabilidade, os sistemas apresentaram-se estáveis, todas as espécies cultivadas reproduziram-se dentro do esperado, com características adequadas ao consumo e a comercialização, com quantidade no tempo final superior ao tempo inicial, o consumo de água em todo o período ocorreu com parcimônia, sem maiores transtornos, demonstrando que há uma real possibilidade de produção uso eficiente d'água em todos os sistemas testados e com todas as espécies cultivadas, ao observar o solo e o desenvolvimento das espécies não se verificou ao menos em nível de experimento a necessidade de análise laboratorial, nem tampouco o uso de defensivos químicos e/ou adubação química, o controle de pragas ocorreu de forma biológica e a adubação orgânica a partir de esterco caprino, contudo houve uma significativa produção de biomassa e não apresentou riscos financeiros, pelo contrário, apresentou reais possibilidades de retorno do capital;
- Confiabilidade: os sistemas apresentaram-se confiáveis do ponto de vista técnico e produtivo, sem risco de perda de capital e capaz de retornos reais, quanto aos recursos

hídricos mostram-se eficientes e capazes de serem produtivos a partir de pouco menos de trinta mil litros de água;

- Resiliência: partindo do pressuposto do conceito de resiliência, os sistemas assim se mostram, se não por seus equipamentos, mas pela capacidade de volta as características iniciais do meio ambiente após o término do processo, pois apesar da intervenção humana, os impactos são poucos mediante os ganhos de escala, ainda assim, se for decidido pelo cultivo de árvores frutíferas, não se pode esperar o retorno das espécies nativas, no entanto, as condições de solo, clima e uso eficiente da água se mantem, o que pode-se concluir na capacidade de regeneração ao menos do espaço;

- Adaptabilidade: são sistemas de fácil manejo, com tecnologias simples e eficientes ao menos em nível local, sendo de fácil replicação resultando em aquisição de conhecimentos melhorando assim as tecnologias utilizadas, sobretudo na captação e utilização da água como insumo de produção;

- Equidade: para as condições locais, a nível de experimento, mostrou-se satisfatória, no entanto, quando levada a questão as reuniões da Associação de Moradores e Produtores do Assentamento Serra do monte, onde se juntaram também pessoas produtoras das comunidades de Pitu e Pata do Município de Cabaceiras Paraíba, estes resultados tem inclinação negativa, isto pela desinformação do grupo e/ou por questões historicamente arraigadas no imaginário das pessoas como sendo natural a estratificação social e, questões como gênero e etnias no geral não são discutidas, nesse sentido alguns gargalos ainda necessitam serem destravados para que haja uma melhor distribuição dos recursos entre os grupos;

- Autogestão: são sistemas autogeráveis, uma vez que não necessitam de insumos externos em demorado, com produção satisfatória, comercialização podendo ocorrer em nível de mercado local, e, há claramente o entendimento de que os bens têm caráter privativo e, sendo os sistemas replicados as famílias e/ou comunidades beneficiadas poderão gerir sem maiores dificuldades e, mesmo que esse seja reproduzido em nível acadêmico, afim de produção de ciência, também não apresenta maiores dificuldade, reforçando seu caráter de auto gerível.

Em qualquer situação de avaliação, observando os resultados econômicos, ambientais, sociais e institucionais, os sistemas apresentam bons resultados, visto que a medida que a água utilizada como insumo de produção nos sistemas analisados apresentam resultados eficientes, com rendimentos em escala satisfatório e uma produção energética dentro dos padrões esperados para produção de alimentos, os custos benefícios dos mesmos

foram considerados ajustáveis e com retornos de escala crescentes, assim como com resiliência e estabilidade demonstrando investimentos produtivos com capacidade real de retornos e o mais importante com rentabilidade do trabalho em padrões de consumo e comercial, visto a relação investimentos, produção, consumo de água, comercialização e resiliência dos sistemas estudados.

CONCLUSÕES

O centro de preocupação da análise da sustentabilidade é sempre a atividade econômica e impactos da ação antrópica sobre o meio ambiente. Considerando a atividade econômica, observada pelo lado da produção, esta é contabilizada tanto pelo lado físico ou real, através do balanço entre insumos e o fluxo de bens e serviços produzidos até o destino final; observado pelo lado econômico, que explica a geração da renda e seu primeiro estágio de apropriação. O volume/valor do PIB⁴ por exemplo, depende fundamentalmente, portanto do que se conceitua como produção, aqui se cria o conceito de fronteira de produção, como sendo o delimitador do conjunto de atividades consideradas produtivas.

Para os sistemas serem avaliados como sustentáveis, do ponto de vista da produção, além de todos os conceitos e análises discutidos ao longo do texto, é essencial acrescentar o conceito de fronteira de produção, uma vez que a partir desse conceito, uma atividade só pode gerar produto/renda se estiver enquadrada no conceito de fronteira produtiva, as atividades excluídas dessa classificação, não tem potencial de afetar a medida do PIB, e portanto, não afeta a renda das famílias, assim são imensuráveis do ponto de vista da análise econômica, não oportunizando avaliar a sustentabilidade econômica da atividade.

Portanto, para tornar possível a avaliação econômica dos sistemas analisados nesse trabalho, foi necessário inserir a produção obtida por eles dentro da classificação e dos conceitos de fronteira de produção, condicionando-o a contabilização da produção a partir dos critérios das Contas Econômicas Ambientais, essa possibilidade existe a partir do momento em que o produto oriundo da atividade gera excedente e este pode ser levado ao

⁴ É o resultado da soma do valor adicionado bruto de todas as unidades produtivas residentes em uma economia, acrescida dos impostos indiretos líquidos de subsídios. O valor adicionado bruto é definido pela diferença entre o valor da produção e o consumo intermediário. O PIB também é igual a demanda final da economia, ou seja, é igual ao montante de bens e serviços, destinados ou uso final: consumo das famílias e da coletividade, acumulação e exportação medidas a preço de comprador menos o valor dos bens e serviços importados, (Motta, 1995).

mercado e comercializado, esses critérios foram atendidos pelos sistemas estudados, de acordo com análise realizada a produção atende aos conceitos e critérios classificatórios das fronteiras de produção e, o produto gerado na atividade, impacta na renda das famílias, oferecem condições de serem inseridos no sistema de Contas Econômicas Ambientais, fator que valida os sistemas como geradores de rendas, e por ser de baixos custos e com retornos crescentes de escalas, os sistemas se mostram economicamente sustentáveis.

Atendida as condições econômicas, é preciso verificar se as condições sociais, ambientais e institucionais são atendidas, para então se validar o sistema como modelo para avaliar a sustentabilidade, desse modo, e compreendendo que a geração de práticas sustentáveis não podem ser resultado excludente da atuação do Estado ou das elites econômicas e políticas de uma localidade, a sustentabilidade dos sistemas se consolida exatamente por angariar inserir todos esses elementos em suas práticas de sorte que, nessas condições, e a partir do entendimento de uma sustentabilidade onde toda a comunidade deve ser articulada na tomada de decisão, a partir de critérios de inclusão, com datas para ações mitigadoras dos impactos ao meio ambiente, entende-se que o modelo busca apoio nas políticas de Estado, utiliza-se de informações e de pessoas habilitadas para desenvolver atividades de articulação entre a implantação dos sistemas e a participação da sociedade.

Desse ponto de vista, e considerando que o modelo pressupõe a necessidade de na tomada de decisão ser necessário à utilização de estratégias, cujas decisões são tomadas em conjunto, considerando indicadores correlacionados e integrados, ponderados e legitimados por atores sociais e institucionais, observando as conexões existentes entre esses indicadores para o nível de sustentabilidade desejada, estabelece-se a premissa de que o modelo é socialmente e institucionalmente sustentável.

A sustentabilidade ambiental, necessita de parâmetros não universais, mas locais, porém os parâmetros universais servem de pressupostos para fundamentação dos parâmetros locais, de modo que se observados as condições naturais em que se desenvolveu o modelo, e a observação visual e técnica do meio ambiente antes, durante e depois da implantação dos sistemas, os impactos negativos foram mínimos, com resultados positivos para a sustentabilidade, visto que os impactos positivos foram superiores aos negativos.

Em resumo, o modelo apresentou resultados positivos para as dimensões sociais, demográficas, econômicas, político-institucional e cultural, uma vez que medidos os aspectos produtivos, comercializados e realizadas as devidas simulações, o consumo de água foi satisfatório, os custos de investimentos foram inferiores as receitas, a comunidade e as

instituições foram ouvidas no processo de tomadas de decisão e a delimitação das variáveis utilizadas para análise da avaliação da sustentabilidade dos sistemas foram decididos, tomando por base a estrutura histórica produtiva da região do semiárido paraibano.

Por se tratar de uma região com períodos de secas muito longo e períodos de chuvas curtos, o uso racional da água é essencial, especialmente quando se trata do uso dessa água na produção de alimentos e, nesse aspecto, o modelo mostrou-se altamente sustentável, pois levando-se em consideração as especificidades da região, o modelo rendeu em termos produtivos, valores superiores ao consumo de água e investimentos econômicos, fatores que viabilizam a sustentabilidade dos sistemas.

É mister afirmar que o modelo envolva o máximo de aspectos possíveis de análise e que seja operacionalmente viável em relação a qualquer sistema de produção com uso racional de água em região semiárida e que objetive a produção familiar nos moldes agroecológicos. Isto é, a forma como o modelo foi idealizado permita a adequação, implantação e operacionalização do modelo, principalmente em região semiárida com escassez de recursos hídricos, mas que essas condições não limite a utilização do modelo em regiões com outras características naturais.

O modelo de avaliação a partir de seus parâmetros e indicadores escolhidos, foi pensado e estruturado de forma a induzir ao uso racional de água, em um processo que gere parcimônia, objetividade e transparência em observância aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, idealizados na Agenda 2030.

Assim urge destacar que o modelo proposto pode ser devidamente apresentado e debatido em instituições de fomento à agricultura familiar, universidades e centros de pesquisa de recursos hídricos e uso racional de água na agricultura irrigada, especialmente as universidades e centros de pesquisa cuja observância parte do pressuposto da sustentabilidade.

Ademais, o modelo apresentado pode fornecer subsídio para melhoria na gestão dos recursos hídricos, à medida que induz o uso racional de água, permite o acesso com mais equidade, possibilitando a melhoria no sistema de informação, incentiva a participação das demais famílias da comunidade, pela possibilidade de melhoria na qualidade de vida através do aumento na renda da família e, conseqüentemente alargamento da reta orçamentaria, desse modo, e observando os indicadores elencados tomando por base o MESMIS, o modelo apresenta limitações cujas condições estão vinculados ao processo histórico constitutivo da própria agricultura familiar na região estudada.

No entanto, é imprescindível mencionar que o modelo apresenta certas limitações a saber: informações incompletas e sem consistência por parte de algumas famílias, isto posto pela abstração teórica do que venha a ser sustentabilidade, como também pela condição historicamente constituída de uma produção mercadológica, desrespeitosa das limitações dos sistemas naturais, e posto que toda e qualquer mudança de paradigmas requer tempo, persistência, coerência e responsabilidade social, institucional, econômica e ambiental.

Um outro fator limitante, resulta da própria estrutura familiar e seu acesso à informação que por ter sido forjada no bojo do capitalismo, toda e qualquer informação está diretamente atrelada a produção em grande escala e, portanto, para se entender que a produção é viável, é necessário fazer entender o propósito da mesma e sua escala de mensuração.

Por fim, a título de análises futuras, em relação ao modelo de avaliação da sustentabilidade a partir do uso racional de água para irrigação em regiões semiáridas, recomenda-se analisar o desempenho da atividade em cenários diferentes, especialmente em função de aspectos climatológicos, realizar uma análise de sensibilidade dos diversos parâmetros e coeficientes do modelo, analisar e adequar sistematicamente os valores assumidos, posto que a particularidade dos dados e, verificar a eficiência na gestão dos recursos hídricos e, conseqüentemente, no desempenho do instrumento de avaliação da sustentabilidade, visto a mudança de paradigmas que essa tem apresentado ao longo dos tempos.

Ainda que os resultados de avaliação da sustentabilidade dos sistemas foram positivos, considerando os aspectos técnicas de produção e utilização dos equipamentos, face ao fácil manuseio, reposição e durabilidade, no que diz respeito a produção e disponibilidade de água para as plantas por sistema, em relação a eficiência por sistemas, quanto ao consumo de água, o sistema localizado subterrâneo por capilaridade mostrou-se mais eficiente que o localizado superficial por gotejamento e este mais eficiente que o localizado por microaspersão.

Quanto à produção, todos os sistemas mostram-se eficientes, no entanto, o sistema localizado por microaspersão apresentou melhor resultados que os demais e o sistema localizado superficial por gotejamento, apresentou melhor resultado que o sistema localizado subterrâneo por capilaridade, comportamento que ocorreu nas três fases de realização do experimento, mesmo assim, os três sistemas mostram-se eficientes, ou seja, sustentáveis, pela eficiência no uso da água, pelos resultados na produção em relação a área cultivada,

pelos preços obtidos no mercado, por apresentarem baixo impacto ambiental, por serem atraentes para investimentos pelas instituições fomentadoras da agricultura familiar, apresentando uma significativa oscilação positiva na segurança alimentar e retornos econômicos positivos em economia de escala, podendo portanto, ser replicado com segurança em unidades familiares em região semiárida, com escassez de água.

De modo que a depender do objetivo e da região escolhida para replicação, a família produtora rural ou os tomadores de decisão e formuladores de políticas, poderão utilizar qualquer um dos sistemas, uma vez que a menos eficiência em um em comparação ao outro equilibra-se nos resultados sem maiores transtornos, ainda assim, os resultados positivos depende da técnica utilizada na produção e a escolha das culturas, atendendo as características da região.

Em caso de possíveis continuidade de estudos com o experimento, aconselha-se inserir a partir do segundo ano, quando as árvores frutíferas já estiverem consolidadas, aves estas potencializam a renda familiar, considerando à matriz e os ovos, esses últimos com possibilidade de renda diária e as primeiras sempre que o produtor decidir renovar o plantel, decidindo-se pela inserção de aves, é necessário isolar o espaço de alojamento das aves com tela, para que não interfiram na área a ser utilizada com as plantas de menor porte, hortaliças e leguminosas. O aconselhamento da inserção das aves dar-se em função de que por baixo das árvores frutíferas, as mangueiras, por exemplo, inviabilizam-se o cultivo de outras espécies, mas nada atrapalha sua produção com a utilização de animais de pequeno porte, estes além de removerem o solo, arejando-o, possuem capacidade de incremento na renda das famílias.

No entanto, mesmo considerando todos os aspectos descritos até o momento da pesquisa, esta apresenta algumas limitações como escassez de água, capacidade técnica dos envolvidos no processo, mercado consumidor incipiente e, o mais preocupante mão de obra, visto que ainda há um processo contínuo de saída de pessoas da zona rural para a zona urbana e, o inverso quase nunca ocorre, de modo que a produção de alimentos por essa parcela da população vem ao longo dos tempos tornando-se cada vez mais escassa, ainda assim, essas limitações e muitas outras existentes no processo podem ser mitigadas e com sorte sanada a partir de uma capacidade gerencial adequada as realidades locais, partindo de pontos estratégicos, como das associações e chegando até as unidades produtoras, promovendo a partir dessa gerência desenvolvimento, oportunizando aqueles que desejarem se manterem em seus locais de origem.

REFERÊNCIAS

2021. Banco Mundial (Eorld Bank) Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Banco Mundial 1818 H. Street NW Woshington DC 20433 www.worldbank.org.

A881 – Atlas Escolar da Paraíba/Coordenadora: Janete Lins Rodrigues – João Pessoa: GRAFSET, @.2000, 2 ed. Consultado em novembro de 2023.

ABRAMOVAY, R. *Paradigmas do capitalismo agrário em questão*. São Paulo: HUCITEC/UNICAMP, 1992, 275 p.

ABRAMOVAY, Ricardo. *Agricultura Familiar e Uso do Solo*. Disponível em:http://www.econ.fea.usp.br/abramovay/artigos_cientificos/1997/Agricultura_familir.pdf Acesso em 10 de dezembro 2023

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2006. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Resumo Executivo. João Pessoa.

AESA/PB. Climatologia da Precipitação Anual Acumulada (Paraíba). 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Termos de referência para a elaboração do plano de recursos hídricos da bacia do rio piranhas-açu: Versão aprovada pela CTPI em 27 de setembro de 2010. Acesso em 01/09/2021.

ÁGUAS DO BRASIL. O outro lado da crise da água: como iniciativas simples podem definir o futuro. 12 ed., Ano 4, jun. 2015.

ALBERTO, F.; CUCHÍ, J. A.; MACHÍN, J. Calidad de água para Riego I: critérios generales. Zaragoza: ITEA, 1979, p. 3-17 (ITEA, 37).

ALMEIDA, Óctavio Alves de. Qualidade da água de irrigação [recurso eletrônico] /Óctavio Alves de Almeida – dados eletrônicos – Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ALVARES, C. A; STAPE, J. L; SENTELHAS, P. C; GONÇALVES, J. L. M; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE - LIMA, D. 1981. The Caatinga Dominium. Revista Brasileira de Botânica, 4: 149 -163.

AQUINO, Ítalo de Souza. Como escrever artigos científicos: Sem “arrodeios” e sem medo da ABNT/ Ítalo de Souza Aquino. – São Paulo: Saraiva, 2010.

ARA, S., 2007. The influency of water quality on the demand for residential development around Lake Erie. Doctoral dissertation, the Ohio State University. ARAGUÉS, R.;

ARNOLD, R. D.; WADE, J. P. A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach.

- ASABRASIL. O lugar da convivência na erradicação da extrema pobreza. 2021. assessment in East Africa using hydrologic and system dynamics modeling. Natural
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Calidad del agua para la agricultura. Roma: FAO, 1976, 174p. (Estudios FAO: Riegos y Drenajes, 29).
- BARDIN, L. Análise de Conteúdo. Lisboa: Edições 70, 2010.
- BB – Banco do Brasil. *Curso Desenvolvimento Regional Sustentável*. Brasília, 2021.
- BIERNARCKI, P. & WALDORF, D. Snowball sampling problems and techniques of chain referral sampling. *Sociological Methods and Research* 10: 141-163. 1981.
- BOELEN, R.; VOS, J. The danger of naturalizing water policy concepts: water productivity and efficiency discourses from field irrigation to virtual water trade. *Agricultural Water Management*, v. 108, p. 16–26, 2012.
- BOSSSEL, H. *Indicators for sustainable development: theory, method, applications: a report to the Balaton Group*. Winnipeg IISD, 1999.
- BOSSI, L. J.; GUAZELLI, M. R. Controle ambiental da água in PHILLIPI, JR.; ROMERO,
- BRADEN, J.B., FENG, X. and WON, D., 2011. Waste Sites and Property Values: A Metal-Analysis *Environmental Resources Economics*, 50(2), p.175-201.
- BRASIL. Lei Federal nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357/2005. Consultado em novembro de 2023.
- BUAINAIM, A. M.; ROMEIRO, A; *A agricultura familiar no Brasil: agricultura familiar e sistemas de produção*. Projeto: UTF/BRA/051/BRA. Março de 2000. 62p. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/fao>
- BUARQUE, C. (1991) *Avaliação econômica de projetos*. 6 ed. Rio de Janeiro: Campus, 266p.
- CARAMASCHI, E.; CORDEIRO NETO, O. e NOGUEIRA J. O Preço da água para irrigação: um estudo comparativo de dois métodos de valoração econômica contingente dose resposta. *Caderno de Ciência & Tecnologia*, V.17, nº3 p. 54-81, 2000.
- CAREGNATO RCA, MUTTI R. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. *Enferm.*, Florianópolis, 2006.
- CARVALHO, R. C. de; MAGRINI, A. Conflicts over Water Resource Management in Brazil: A Case Study of Inter-Basin Transfers. *Water Resources Management*, v. 20, p. 193–213, 2006. DOI: 10.1007/s11269-006-7377-3.

CAVALCANTI, Clovis. Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas / Clóvis Cavalcanti (org.). 2 ed. – São Paulo: Cortez: Recife : Fundação Joaquim Nabuco,

CEDAE. Qualidades da água: relatórios Guandu - ano 2020. Available at: <HTTPS://www.cedae.com.br>.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). DELIBERAÇÃO CBHSF Nº 94, de 25 de agosto de 2017. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/download/deliberacoes/deliberacoes_do_ano_de_2017/de_liberaccca7acc83o-cbhsf-no-94-2017-metodologia-decobranccca7a-e-ppupara-a-bhsf.pdf>. acesso em: 20 de agosto de 2021.

CORREA, A.C.de B., TAVARES, B. de A. C., MONTEIRO, K. de A., CAVALCANTI, L.C.S., LIRA, D.R.de, 2010. Mega geomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema. Revista do Instituto Geológico 31, 35-52

COSTA, A. Agricultura sustentável I: Conceitos. Revista de Ciências Agrárias, v.33, n.2, p. 61-74, 2016.

COSTA, A. B. e ZOLTOWSKI, A.P. Como escrever um artigo de revisão sistemática. [2014]. <https://www.researchgate.net/publication/323255862_Como_escrever_um_artigo_de_revisao_sistemica> Acesso em: 23/08/2021

COSTANZA, R.; PATTEN, B. C. Defining and predicting sustainability. Ecological

CPRM. 2005a. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São João do Cariri, estado da Paraíba. Org.: Breno Augusto Beltrão, Franklin de Moraes, João de Castro Mascarenhas, Jorge Luiz Fortunato de Miranda, Luiz Carlos de Souza Junior, Vanildo Almeida Mendes. Recife: CPRM. 19p.

CPRM. 2005b. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Cabaceiras, estado da Paraíba. Org.: Breno Augusto Beltrão, Franklin de Moraes, João de Castro Mascarenhas, Jorge Luiz Fortunato de Miranda, Luiz Carlos de Souza Junior, Vanildo Almeida Mendes. Recife: CPRM. 23p.

CPRM. 2005c. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Boqueirão, estado da Paraíba. Org.: Breno Augusto Beltrão, Franklin de Moraes, João de Castro Mascarenhas, Jorge Luiz Fortunato de Miranda, Luiz Carlos de Souza Junior, Vanildo Almeida Mendes. Recife: CPRM. 21p.

CPRM. 2005d. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Boa Vista, estado da Paraíba. Org.: Breno Augusto Beltrão, Franklin de Moraes, João de Castro Mascarenhas, Jorge Luiz Fortunato de Miranda, Luiz Carlos de Souza Junior, Vanildo Almeida Mendes. Recife: CPRM. 19p.

DAHL, A. L. The Big Picture: comprehensive approaches. In: MOLDAN, B; BILHARZ, S. (Ed.) *Sustainability Indicators*: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

DAVID, R. Os economistas/princípios de economia política e tributação. Fundação Victo Civita/Nova Cultur-SP, 1996

DAVID, R. Os economistas/princípios de economia política e tributação. Fundação Victo Civita/Nova Cultur-SP, 1996

DAVID, R. The principles of political economy, London, 1817.
development in the Volta River Basin, Ghana. Science of the Total Environment, v. 573, p. 444–457, 2016.

DNOCS. (Relatório N° 2): Diagnóstico Ambiental do Açude Público Epitácio Pessoa. João Pessoa, 2023.

DUCHIN, Faye.; LOPEZ-MORALES, Carlos. Do water-rich regions have a comparative advantage in food production? Imposing the representation of water for agriculture in economic models, Economic Systems Research, 2012, p. 371-389.

DUQUE, José Guimarães. Solo e água no polígono das secas. 6ª Ed. Mossoró: Coleção Mossoróense, 2001.

dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural

EARTHDATA/NASA. ALOS PALSAR. 2011. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/> Acesso em: 20 mai. 2023. Economics, v. 15, n. 3, p. 193–196, 1995.

ELMAHDI, A.; MALANO, H.; KHAN, S. Using a system dynamics approach to model

EMBRAPA Solos – Empresa Brasileira de Agropecuária Solos. Mapa exploratório, reconhecimento de solos do estado da Paraíba. 2017. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Asoles_paraiba_wgs84_1. Acesso em: 02 nov. 2023.

ENGMAN, E. T.; GURNEY, R. J. Remote sensing in hydrology, Cambridge: Library of congress cataloguing in Publication data. 1991, p.225.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Relatório de Segurança Alimentar e Nutricional 2020. FAO/FIDA, Santiago do Chile, 2020. / fao.org/Américas/noticias/ver/pt/c.

FAO'S – Information System on Water and Agriculture (AQUASTAT) [gttp://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm). Acesso em 10/01/2024.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United. Food Security in the 2030 Agenda for Sustainable Development. Relatory to Rome Italy, 2021.

FIGUEIREDO, A. P. et al. A Questão da Água no Nordeste. Agência Nacional de Águas - ANA.

FRANCO, M. A. R. Planejamento ambiental para a cidade sustentável. São Paulo: Annablume: FAPESP, 2000.

FRANZLUEBBERS, Alan J. Soil organic carbon sequestration calculated from depth distribution. USDA agriculture research service. 101, direuse place, NCSV, Campus Box, 2021/Soil Science Society of American Journal, 2021.

FRASER, M. T.; GONDIM, S. M. Da Fala do Outro ao Texto Negociado: Discussões sobre a Entrevista na Pesquisa Qualitativa. Paidéia, 14 (28), 2004.

FREDERIKSEN, H. D. Draught planning and water efficiency implication in water resources management. Washington the World Bank, 1992, p.25-33 (World Bank Technical Paper, 185).

FRIZZONE, J. A. Os métodos de irrigação, 2017a.

GALVÁN, D.; FERMÁN, J. L.; ESPEJEL, I. ¿Sustentabilidad comunitaria indígena? Un modelo integral. Sociedad y ambiente., v. 11, n. Jul-Oct, p. 4–22, 2016.

GIES, L.; AGUSDINATA, D. B.; MERWADE, V. Drought adaptation policy development and assessment in East Africa using hydrologic and system dynamics modeling. Natural Hazards, v. 74, n. 2, p. 789–813, 2014.

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

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social 6 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GLAVI, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. Journal of

GLEICK, P. The changing water paradigm: a look at twenty-first century water. Resources development water international, vol.25; n.1, p.127-138, 2000.

GOGIÉ. P. Effect of livestock production on the economic efficiency of irrigation systems. Journal of Agricultural Sciencies, v. 51, n. 2, p. 177–187, 2006.

GOMES, M.A.F. 1979. Padrões de Caatinga nos Cariris Velhos, Paraíba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 88p

GOMES, R. et al. Organização, processamento, análise e interpretação de dados: o desafio da triangulação. In: MINAYO, M. C. S.; ASSIS, S. G.; SOUZA, E. R. (Org.). Avaliação por triangulação de métodos: Abordagem de Programas Sociais. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2010.

GONÇALVES, J. S.; SOUZA, S. A. M. *Agricultura familiar: limites do conceito e evolução do crédito*. Artigos: políticas públicas. Instituto de Economia Agrícola, 2018.

GONZALEZ-ROMERO, A.; RUBIO S. El problema de la planificacion hidrológica: una aplicacion al caso español. Revista de economia aplicada, 1 p. 33-66; 1993.

GREGOLIN, G. C.; GREGOLIN, M. R. P.; TRICHES, R. M.; ZONIN, W. J. desenvolvimento: do unicamente econômico ao sustentável multidimensional. Revista

Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP – PRACS _ Macapá, 2019; v. 12, Nº 3; p. 51-64 Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030. IV Relatório Luz da Sociedade Civil da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável Brasil, 2020.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q. Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade. *Ambiente & sociedade*, v.12, n.2, p. 307-323, 2009.
Hazards, v. 74, n. 2, p. 789–813, 2014.

HILL, R. W. consuptive use of irrigated crop in Utah. Research report. Logan: Agricultural Experimental Station. 1994, p.121-126 (Research Report, 145).

HOBBSAWN, Eric. A era dos extremos: o breve século XX – 1914-1991. São Paulo: Scwarcz, 1996.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Urbana. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 01 nov. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. Manual técnico de geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro.

IDEME. Regiões Geoadministrativas da Paraíba. 2021.

IISD. International Institute for Sustainable Development. Sustainable management for nature resources, 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de Imagens - CBERS 4A. 2023. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em 03 nov. 2023.

JERÓNIMO, Jaime Agostinho; HERNRIQUES, Pedro Damião; SILVA CARVALHO, Maria Leonora da. Impactos do preço da água na agricultura no Perímetro Irrigado do Vale de Caxito. *RESR*, Piracicaba-SP, Vol. 53, Nº 04, p.699-714, 2015.

JOHANSSON, R. C. Pricing irrigation water: a literature survey. The World Bank Rural Development Department, Policy Research Working Paper; Washington D. C., 2000; p.1-80. *Journal of Agricultural Sciences*, v. 51, n. 2, p. 177–187, 2006.

JUNIOR, Antônio Aparecido Mendes; DE BARROS, Zacarias Xavier. Utilização racional de água em cervejaria brasileira. *energia na agricultura*, v. 35, n. 2, p. 287-294, 2020.

KOTIR, J. H.; SMITH, C.; BROWN, G.; MARSHALL, N.; JOHNSTONE, R. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana. *Science of the Total Environment*, v. 573, p. 444–457, 2016.

LAFER, C. Abertura do semiárido: o projeto CIEDS. In: *Definindo uma agenda de pesquisa sobre desenvolvimento sustentável: Brasília*, 1996.

LÓPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O.; ASTIER, M. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems: The MESMIS framework. *Ecological Indicators*, v. 2, p. 135–148, 2002.

LUOVITCH, M. I. Recursos mundiales de água: present e future. In *AMBIO. El água*. Barcelona: Blume Ecologia. 988, p. 24-39. M. de A. e BRUNA, G. C. Curso de Gestão Ambiental. São Paulo – USP, 2014.

MALTHUS, T. R. Ensaio sobre a população/colecção economia política. LeBooks, 2017.

MANDELA, L. C. A contemporaneidade da Convivência com o Semiárido. Disponível em http://www.asabrazil.org.br/noticias?artigo_id=3125. 2018. Acesso em 03/01/2024.

MARCONI, M. M.; LAKATOS, E. M. metodologia científica 3 ed. São Paulo: Atlas, 2000.

MARTINEZ, J. Una herramienta para la sustentabilidad de sistemas socioambientales tradicionales de ambientes áridos: el modelo COMONDU. Fundacion Fernandez Cultura Nueva, n. JANUARY, 2014.

MARTINS, M. de F. e CANDIDO, G. A. índices de desenvolvimento sustentável para localidades: uma proposta metodológica de construção e análise. In CANDIDO, G. A. (org.) desenvolvimento sustentável e sistemas de indicadores de sustentabilidade: formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas. – Campina Grande – PB: Ed. UFCG, 2010.

MARTINS, M. DE F.; CANDIDO, G. A. e AIRES, A. B. Sustentabilidade em sistemas agrícolas integrados: uma aplicação do método MESMIS em cooperativa de pequenos produtores rurais. *RBCIAMB*, nº 43, março de 2017, p. 64-68.

MARZALL, K. Indicadores de sustentabilidade para agoecossistemas. 1999. 208f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), UFRGS, Porto Alegre, 1999.

MATTOS, CLG. A abordagem etnográfica na investigação científica. [2011] In: MATTOS, CLG., and CASTRO, PA., orgs. *Etnografia e educação: conceitos e usos* [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2011. pp. 49-83. ISBN 978-85-7879-190-2. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

MEADOWS, D. Indicators and information systems for sustainable development. [S.I]: the Sustainability Institute, 1998.

MESMIS. Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad.: http://mesmis.gira.org.mx/es/static/mesmis_framework?culture=en. Acesso em: abril, 2022.

MICHAEL, M. H. metodologia e pesquisa científica em ciências sócias. 2 ed. Atual e Ampliada. São Paulo: Atlas, 2009.

MINAYO, M. C. et al. Métodos, técnicas e relações em triangulação. In: MINAYO, M. C. S.; ASSIS, S. G.; SOUZA, E. R. (Org.). Avaliação por triangulação de métodos: Abordagem de Programas Sociais. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2010.

MOLION, L.C.B., BERNARDO, S.O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.

MOREIRA, E.R.F. 1988. Mesorregiões e Microrregiões da Paraíba, delimitação e caracterização. GAPLAN, João Pessoa. 74p.

MOTTA, R. S. da.; Contabilidade Ambiental: teoria, metodologia e estudo de caso no Brasil: Rio de Janeiro, IPEA, 1995. V I, 126p.

MUTUANDO, Instituto Giramundo, 2005. A cartilha agroecológica / Instituto Giramundo mutuando Botucatu, SP: Editora Criação Ltda, 2005.

MOURÃO, J. S.; NORDI, N. Etnoictiologia de pescadores artesanais do estuário do rio Mamanguape, Paraíba, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 29 (1): 9-17. 2003

NAÇÕES UNIDAS. Sistema de contas econômicas ambientais 2012: marco central. Brasília, DF: Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe - Cepal, 2016. 290 p.

NASCIMENTO, S.S., ALVES J.J.A., 2008. Ecoclimatologia do Cariri Paraibano. *Revista Geográfica Acadêmica* 2, 28-41.

NASSIF, L. O Risco de escassez de água doce, 2013. Nueva, n. JANUARY, 2014.

PAGNOCCHESCHI, B. A Política Nacional de Recursos Hídricos no cenário da integração das políticas públicas. In: MUÑOZ, H.R. (org). Interfaces da gestão de recursos hídricos: Desafios da Lei de Águas de 1997. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2000.

PALOMINO-SCHALSCHA, M.; LEAMAN-CONSTANZO, C.; BOND, S. Contested water, contested development: unpacking the hydro-social cycle of the Ñuble River, Chile. *Third World Quarterly*, v. 37, n. 5, p. 883–901, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01436597.2015.1109436>>. Acesso em: 9 dez. 2023.

PEREIRA, Adriana Soares; SHITSUKA, Dorlivete Moraes; PEREIRA, FABIO José; SHITSUKA, Ricardo. Metodologia da pesquisa científica. [recursos eletrônicos]. 1 ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018.

Procedia Computer Science, v. 44, p. 669–678, 2015. Disponível em:

RAO, N. H.; ROGERS, P. P. Assessment of Agriculture sustainability. *Current Science*, v.91, n.4, p. 439-448, 2006.

RESENDE FILHO, M. A. et. al. Precificação da água em projetos de irrigação: uma aplicação do método paramétrico de estimação de uma função insumo distância. In anais congresso do SOBER, Rio Branco Brasil, 2008.

RESENDE FILHO, Moisés de Andrade; ARAÚJO, Felipe Augusto de.; SILVA, Alexandre Stamford; SOUSA BARROS, Emanuel de. Precificação da água e eficiência técnica em perímetro irrigado: uma aplicação da função insumo distancia paramétrica. Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada - FE/UFJF. Juiz de Fora, 2010.

RIBEIRO, A. L. Sistemas de indicadores de sustentabilidade para a Amazônia. Tese. Universidade Federal do Pará, 2000.

RODRIGUES, Lineu Neiva. Agricultura irrigada: um breve olhar / Editado por Lineu Neiva Rodrigues, Daniele Zacarias: Fortaleza: Inovagari, 2020.

ROSS, J.L.S., 2011. Geografia do Brasil. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo.

RUTHES, S.; NASCIMENTO, D. E. Desenvolvimento sustentável e os arranjos produtivos locais. In: IX Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 2006, São Paulo. Anais ... São Paulo: Simpósio 1 CD ROM.

SACHS I. *Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SACHS I. VIEIRA, P. F. (Org). *Rumo à ecossocioeconomia: Teoria e prática do desenvolvimento*. São Paulo: Cortez, 2007.

SACHS, J. From Millennium Development Goals to Sustainable Development Goals. *The Lancet*, 2012; 379 (9832); 2206-2211.

SAMIAN, M.; MAHDEI, K. N.; SAADI, H.; MOVAHEDI, R. Identifying factors affecting optimal management of agricultural water. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 14, n. 1, p. 11–18, 2014.

SAMPAIO, E.V.S.B.; ANDRADE-LIMA, D.; GOMES, M.A.F. 1981. O gradiente vegetacional das caatingas e áreas anexas. *Revista Brasileira de Botânica*, 4(1): 27-30

SANCHES, G. F.; MATOS, M. M. Marcos metodológicos para sistematização de Indicadores de Sustentabilidade da Agricultura. *Cadernos [SYN]THESIS*. V.5 n.2, p. 255-267, 2012.

SEN, A. *Desenvolvimento como Liberdade*. São Paulo: Cia das Letras, 1999.

SHI, T.; GILL, R. Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in China: the case study of Jinshan County with a systems dynamics model. *Ecological Economics*, v. 53, n. October 2004, p. 223–246, 2005.

SILVA, E. M. S. et al. Sustentabilidade e responsabilidade social ambiental: o uso indiscriminado de água. *Revista Maiêtica, Indoial*, V.4, nº 1, p.57-66, 2016.

SIVAPALAN, M.; SAVENIJE, H. H. G.; BLÖSCHL, G. Socio-hydrology: a new science of people and water. *Hydrological Processes*, v. 26, n. 8, p. 1270–1276, 2012.

SUDENE. Delimitação do semiárido. 2017. Disponível em <https://goo.gl/FGY5gk>. Acesso em 01/09/2024.

SUŠNIK, J.; VAMVAKERIDOU-LYROUDIA, L. S.; SAVIĆ, D. a.; KAPELAN, Z. Integrated system dynamics modelling for water scarcity assessment: case study of the Kairouan region. *Science of The Total Environment*, v. 440, p. 290–306, 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969712008005>>. Acesso em: 12 de fev. de 2024.

TALLES, Dirceu D'alkmin. *Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão*. São Paulo. Blucher, 2012.

TESTETZLAF, R. *Irrigação localizada parte 2 – Sistemas*, 2014.

TISDELL, C. A. *The economics of conserving wildlife and natural areas cheltenham, UK and Northampton MA, USA*: Edward Elgar, 2002.

TSUR, Y. Economic aspects of irrigation water pricing. *Canadian Resources Journal*, v.30, n.1, p.31-466, 2005.USGS.gov. /Science for a changing world. Consultado em 27/08/2021.

VALVEVA, V. BAILEY, J. & JUREZYK, N. Using sustainable: a valuation model for corporate performance. In *IEEE, 200 international symposium on electronic and the environment*, (pp.1-12), Washington, D. C. USA, 2011.

VARIAN, Hal R. *Microeconomia: princípios básicos* / Hal R. VARIAN ; tradução da 5ª ed. Americana Ricardo Inojosa, Maria José Cyhlar Monteiro. – Rio de Janeiro: Campus, 2000.

VEIGA, J. E. da, 2010. *Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor*, São Paulo Editora SENAC,, São Paulo.

VERONA, L. A. F. A real sustentabilidade dos modelos de produção da agricultura: indicadores de sustentabilidade na agricultura. *Horticultura Brasileira*, v.28, n.2, p. 52-66, 2010.

WWAP (United nations World Water Assessment Programme). *The United Nations World Water Development Report, 2015. Water for sustainable World*. Paris, UNESCO, 2015.

XIONG, Y.; LI, J.; JIANG, D. Optimization research on supply and demand system for water resources in the Chang-Zhu-Tan urban agglomeration. *Journal of Geographical Sciences*, v. 25, n. 11, p. 1357–1376, 2015.

XU, Y. *Research on Land Use Ecological Security Pattern in Jiangxi Province*. Master's Thesis, Jiangxi Normal University, Nanchang, China, 2017.

ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; SILVA, J. A. *Irrigação em citros*. Jaboticabal: FUNEP. 1998.

APÊNDECE

Para avaliar a viabilidade econômica das diferentes atividades possíveis implantadas no sistema faz-se necessário estimar os custos e os benefícios advindos da opção por cada uma das alternativas de produção e compará-las com o uso de indicadores de resultados econômicos.

A análise da viabilidade econômica foi realizada em duas etapas, a primeira consistindo na construção dos fluxos de caixa que, uma vez obtidos, serviram para o cálculo de algumas medidas de resultado econômico. Neste caso, utilizou-se, como indicadores de resultado econômico, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e a razão benefício/custo que têm como vantagem o fato de considerarem o efeito da dimensão tempo dos valores monetários.

ELABORAÇÃO DOS FLUXOS DE CAIXA

Os fluxos de caixa são valores monetários que representam as entradas e saídas dos recursos e produtos por unidade de tempo, os quais compõem uma proposta ou um projeto de investimento. São formados por fluxos de entrada (receitas efetivas) e fluxos de saída (dispêndios efetivos) cujo diferencial é denominado fluxo líquido. (BUARQUE, 1991).

Na montagem dos fluxos de saída serão consideradas as despesas de investimento, quando existirem, sendo computados como despesas operacionais todos os gastos efetuados ao longo do ciclo produtivo. No caso da montagem dos fluxos de entrada serão considerados como receita a venda da produção e os valores residuais dos equipamentos imputados a cada horizonte. As depreciações dos equipamentos são definidas conforme o método da depreciação sendo o linear um dos mais indicados.

Todos os preços empregados na análise econômica sejam de produtos, de equipamentos ou de insumos, foram coletados na própria região para refletir o real potencial econômico das alternativas testadas. Sendo considerada a média de preço encontrada em pelo menos três mercados, considerados preços de cofator a preço de mercado vigente.

SELEÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para a avaliação econômica foram utilizadas as ferramentas que levam em conta critérios de atualização do fluxo de fundos, ou seja: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e razão Benefício-Custo (B/C).

a) Valor Presente Líquido

O Valor Presente Líquido representa o resultado de todas as entradas e saídas do projeto depois de tomar-se o custo de oportunidade do capital (BUARQUE, 1991). Nesse caso, será considerado o Custo Médio Ponderado do Capital (CMPC), obtido pela ponderação das taxas de juros aplicadas aos capitais externo e próprio, com relação à parcela de cada fonte no investimento.

O método do VPL compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontando os retornos futuros do fluxo de caixa a uma dada taxa de juros. Consiste em transferir para o instante atual todas as variações de caixas esperadas, descontá-las a uma determinada taxa de juros e somá-las algebricamente. (Nogueira, 1999).

Segundo Gonçalves et. al. (2018), o modelo matemático do VPL do projeto de investimento pode ser escrito:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

em que:

* I é o investimento de capital na data zero, registrado com sinal negativo por ser um desembolso;

* FC_t representa o retorno depois dos impostos na data t do fluxo de caixa; n é o prazo de análise do projeto; e,

* i é a taxa mínima para realizar o investimento, ou custo de capital do projeto de investimento.

O valor de i depende do binômio risco – retorno do projeto de investimento; para um aumento de risco espera-se um aumento de retorno, e vice-versa. O período da taxa de juro i deve ser igual à periodicidade de ocorrência dos capitais do fluxo de caixa do projeto.

Se a soma de todos os retornos do projeto na data zero for maior que o investimento I, então o VPL do projeto de investimento será positivo. O critério deste método estabelece que sempre que o valor presente dos retornos for maior que o valor presente do investimento, calculado com a taxa mínima requerida i, o projeto deverá ser aceito.

b) Taxa Interna de Retorno

Com a finalidade de avaliar o desempenho dos fluxos de caixa em relação a custo médio ponderado do capital, foi utilizada a taxa interna de retorno que tem a característica de ser determinada apenas por meio dos dados do próprio projeto.

A taxa interna de retorno de um projeto é a taxa que torna nulo o valor presente líquido de seu fluxo de caixa. É aquela que torna o valor presente dos lucros futuros equivalentes ao valor dos gastos realizados com o projeto, caracterizando, assim, a taxa de remuneração do capital investido. (BUAINAIN, 2000).

O período da TIR é igual à periodicidade dos capitais do fluxo de caixa. Segundo (BUAINAIN, 2000), o procedimento de cálculo da TIR é realizado com o modelo matemático do VPL, procurando a taxa de juro TIR que o anula. Assim:

$$VPL = 0 = -I + \frac{FC_1}{1+TIR} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_i}{(1+TIR)^i} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n}$$

Agrupando as somas dos retornos tem-se

$$VPL = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t}$$

O critério do método da Taxa Interna de Retorno, aplicado num investimento com fluxo de caixa do tipo simples, estabelece que, enquanto o valor da TIR for maior que a taxa mínima requerida i, o investimento deverá ser aceito.

A principal vantagem do método da TIR é fornecer como resultado uma medida relativa, uma taxa efetiva de juros. Isto faz com que o valor da TIR seja fácil de ser compreendido. Ainda assim, alguns cuidados devem ser tomados quando o fluxo de caixa

não se apresenta na forma simples ou convencional. Assim, se o capital do fluxo de caixa apresentarem mais de uma mudança de sinal poderá existir mais de uma TIR.

c) Índice Benefício/Custo

A razão Benefício/Custo (B/C) representa a relação entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos. O índice benefício/custo é calculado dividindo-se o valor presente do fluxo de benefícios pelo valor presente do fluxo de custos. Com esse procedimento, o projeto é considerado um bom investimento sempre que o índice benefício/custo for superior a 1,0, sendo ele tanto melhor quanto maior for o valor desse indicador (GONÇALVES et. al., 2018). O índice benefício/custo pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n L_t (1+k)^{-t}}{L_0}$$

Nesse caso, o numerador mede o valor descontado dos benefícios adicionais líquidos devido ao projeto e L_0 mede o valor presente do investimento.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade permite avaliar de que forma as alterações de cada uma das variáveis do projeto podem influir em seus resultados esperados, ou seja, consiste em definir a rentabilidade do projeto em função de cada uma de suas variáveis e observar a variação que ocorrerá na rentabilidade para cada alteração nessas variáveis. (BUARQUE, 1991).

O procedimento da análise de sensibilidade pode ser resumido da seguinte forma (BUARQUE, 1991):

- a. deve-se escolher o indicador a sensibilizar;
- b. escolhido o indicador a ser sensibilizado, determina-se a sua expressão em função dos parâmetros e variáveis escolhidas;
- c. prepara-se um programa de computação que permita a obtenção dos resultados a partir da introdução dos valores dos parâmetros na expressão;
- d. dessa forma, pode-se introduzir variações num ou mais parâmetros e verificar de que forma e em que proporções essas variáveis afetam os resultados;
- e. como ponto de referência, deve-se tomar os valores “normais” determinados no estudo do projeto;
- f. a orientação a que se deve:
 - i) calcular o resultado final escolhido, tomando por base os valores normais do estudo do projeto;
 - ii) altera-se depois o valor de um ou mais dos parâmetros. Essa alteração pode ser, por exemplo, de 10% do valor “normal” de cada um dos parâmetros a variar. De preferência devem-se tomar valores pessimistas em relação à rentabilidade: elevação para os itens de custo, redução para os itens da receita;
 - iii) introduzem-se os novos valores na expressão, mantidos constantes os demais parâmetros;
 - iv) o novo resultado é, então, comparado com o seu valor normal;
 - v) o projeto é tanto mais seguro quanto menos varia o resultado final;
 - vi) os parâmetros cuja influência é mais notória devem merecer um estudo cuidadoso. Da mesma forma, esses parâmetros devem merecer mais atenção durante o funcionamento futuro da empresa.

OTIMIZAÇÃO MEDIANTE MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

A programação linear é definida, por Prado (1999), como sendo uma ferramenta utilizada para encontrar o lucro máximo ou o custo mínimo em situações nas quais temos diversas alternativas de escolha sujeitas a algum tipo de restrição ou regulamentação.

Um modelo é uma idealização do sistema ou uma visão simplificada da realidade. A partir desta idealização, o modelo emprega símbolos matemáticos para representar as variáveis de decisão do sistema real. Essas variáveis são relacionadas por funções matemáticas que expressam o funcionamento do sistema e solução consiste em encontrar valores adequados das variáveis de decisão que otimizem o desempenho do sistema. (PUCCINI, 1987).

Os modelos de programação linear são identificados pelas seguintes características (PUCCINI, 1987):

- a) um critério de escolha de variáveis de decisão constituído por uma função linear das variáveis. Esta função é denominada função objetivo e seu valor deve ser otimizado (maximizado ou minimizado);
- b) as relações de interdependência entre as variáveis de decisão se expressam num conjunto de equações ou inequações lineares. Essas relações são denominadas restrições;
- c) as variáveis de decisão do modelo são não negativas, são positivas ou nulas.
- d) em resumo, para a formulação de qualquer modelo de programação linear, três passos devem ser seguidos:

1ª - Identificar as variáveis de decisão;

2ª - Identificar a função objetivo;

3ª - Identificar o conjunto de restrições;

A solução de qualquer modelo consiste em achar x_1, x_2, \dots, x_n que maximize ou minimize a função linear (função objetivo), satisfazendo diversas inequações lineares (restrições) como é mostrado no modelo geral.

$$\text{Max. } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

Na interpretação do modelo é importante a associação a uma empresa agropecuária que tem m recursos disponíveis para produção de n produtos distintos (atividades). Assim, para j e i tem-se:

x_j = total da área de produção de cada atividade j ;

c_j = margem bruta anual de cada atividade j ;

b_i = quantidade disponível, anualmente, do recurso i ; e,

a_{ij} = quantidade do recurso i consumida, por ha, na produção de uma unidade da atividade j .

A função objetivo a ser maximizada representa a margem bruta total da empresa agropecuária na combinação ótima das n atividades distintas.

As m restrições informam que o total gasto do recurso i , nas n atividades, tem que ser menor ou, no máximo, igual à quantidade b_i disponível daquele recurso.

As restrições $x_j \geq 0$ indicam que a área de produção de cada cultura não pode ser negativa.

MODELO ANALÍTICO

O modelo analítico do estudo feito para região com horizonte de treze anos ficou representado da seguinte forma:

Max. $Z = SF$ sujeito a:

Ano 1

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{113}x_{13} + a_{113}E_1 + S_1 = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{213}x_{13} - E_1 \leq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{313}x_{13} \leq b_3$$

$$c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{13}x_{13} - M_1 = 0$$

$$M_1 - R_1 = \text{Salário}_1$$

Ano 2

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{113}x_{13} + a_{113}E_2 + S_2 - S_1 - R_1 = 0$$

$$a_{21}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{213}x_{13} - E_2 \leq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{313}x_{13} \leq b_3$$

$$c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{13}x_{13} - M_2 = 0$$

$$M_2 - R_2 = \text{Salário}_2$$

[...]

Ano 10

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{110}x_{10} + a_{110}E_{10} + S_{10} - S_9 - R_9 = 0$$

$$a_{21}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{210}x_{10} - E_{10} \leq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{310}x_{10} \leq b_3$$

$$c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{13}x_{10} - M_{10} = 0$$

$$M_{10} + S_{10} - SF = \text{Salário}_{10}$$

em que:

x_j = total da área de produção de cada atividade j . Os x_j (j = batata doce, milho, feijão, hortaliças, tomate, pimentão, banana, maracujá, mamão, citros) são as atividades possíveis de serem executadas na região.

c_j = margem bruta anual de cada atividade j . Em cada ano, o produtor teria retornos diferentes de margem bruta devido ao ciclo de produção de cada atividade. Portanto, foi respeitada a escolha de várias possibilidades de implantação das atividades ao longo dos treze anos.

b_i = quantidade disponível, anualmente, do recurso i , (i = quantidade de capital, mão-de-obra e terra) para o conjunto de atividades ($b_i \geq 0$).

a_{ij} = quantidade do recurso i consumida, por ha cultivado, na atividade j . No recurso i , que representa a quantidade de capital, foram computados os custos de cada atividade a cada ano. No recurso i mão-de-obra foi computada a quantidade de mão-de-obra anual gasta para cada atividade. A quantidade de recurso i consumida foi distribuída durante os treze anos, respeitando todas as possibilidades possíveis de serem executadas, isto é, o produtor poderia escolher a melhor cultura para investir em qualquer ano.

E_t = variável para representar a quantidade de mão-de-obra contratada a cada ano t ($t = 1, \dots, 10$) caso a disponibilidade do recurso b2 (mão-de-obra) não fosse suficiente.

S_t = variável para representar a folga de capital, caso houvesse, de cada ano t ($t = 1, \dots, 10$). No modelo, essa folga é repassada para o ano seguinte, ajudando a compor o montante de recursos financeiros disponíveis.

M_t = variável para representar o valor do somatório das margens brutas anuais.

Salário_t = variável para representar a remuneração familiar anual.

R_t = variável para representar a sobra de capital anual, obtida subtraindo-se das margens brutas anuais (M_t) à remuneração anual da família.

SF = variável para representar o saldo final ao longo dos treze anos com pagamento de todos os custos operacionais anuais com as culturas escolhidas e a remuneração da família.

ANEXOS

Fonte: autor, 2022 – escolha do local



Fonte: autor, 2022 – escolha do local do experimento



Fonte: autor, 2022 – preparação do local do experimento



Fonte: autor 2022 – preparação do espaço para o experimento



Fonte: autor 2022 – Montagem dos equipamentos para o experimento



Fonte: autor 2023, montagem do experimento



Fonte: autor 2023 montagem do experimento.



Fonte: autor 2023, montagem do experimento



Fonte: autor 2023 – início do plantio



Fonte: autor 2023 – Identificação do experimento



Fonte: autor 2023 – muda de parreira – uva, com sistema de irrigação localizada subterrâneo



Fonte: autor 2023 – muda de parreira 2 meses depois



Fonte: autor 2023 – Muda de Ciriguela com sistema de irrigação localizada superficial



Fonte: autor 2023 – Fruto medicinal – None, com sistema de irrigação localizada subterrâneo



Fonte: autor 2023 – laranja cravo com sistema localizada subterrâneo



Fonte: autor 2023 – Gergelim com sistema de irrigação subterrâneo



Fonte: autor 2023– sistema de irrigação localizado subterrâneo



Fonte: autor 2023 – gergelim com sistema de irrigação localizada subterrâneo



Fonte: autor 2023 – plantação com sistema de irrigação localizada por microaspersão



Fonte: autor 2023 – plantação com sistema de irrigação localizada subterrâneo



Fonte: autor 2023 – sistema de irrigação localizado superficial (gotejamento)



Fonte: autor 2023 – desenvolvimento das culturas cultivadas em sistemas localizados superficiais



Fonte: autor 2023 – desenvolvimento das culturas com sistema localizado subterrâneo



Fonte: autor 2023 – desenvolvimento das cultura em sistema localizado subterrâneo



Fonte: autor 2023 – colheita de maxixe



Fonte: autor 2023 – colheita de abobrinha



Fonte: autor 2023 – colheita de milho



Fonte: autor 2023 – colheita de milho, maxixe, abobrinha e jerimum



Fonte: autor 2023 – colheita de milho, jerimum e capim de cheiro



Fonte: autor 2023 – colheita de macaxeira.