



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, NATUREZA E  
DESENVOLVIMENTO**

**DILMA ÁZIRA ISMAEL CARLOS**

**INDICADORES DE USO EFICIENTE DA ÁGUA EM AGRICULTURA FAMILIAR  
IRRIGADA SOB CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL E NA  
ÁFRICA AUSTRAL**

**SANTARÉM- PA  
2023**

**DILMA ÁZIRA ISMAEL CARLOS**

**INDICADORES DE USO EFICIENTE DA ÁGUA EM AGRICULTURA FAMILIAR  
IRRIGADA SOB CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL E NA  
ÁFRICA AUSTRAL**

Tese submetida conforme as exigências para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais do Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), na Linha de pesquisa: Impactos Ambientais e Sociais da Mudança do Uso da Terra na Amazônia.

**Orientadora:** Profa. Dr<sup>a</sup>. Lucieta Guerreiro Martorano  
**Coorientador:** Prof. Dr. Celson Pantoja Lima

**SANTARÉM- PA  
2023**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

---

C284i Carlos, Dilma Ázira Ismael  
Indicadores de uso eficiente da água em agricultura familiar irrigada sob condições climáticas na Amazônia Oriental e na África Austral./ Dilma Ázira Ismael Carlos. – Santarém, 2023.

213 p. : il.  
Inclui bibliografias.

Orientadora: Lucieta Guerreiro Martorano.  
Coorientador: Celson Pantoja Lima.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação Sociedade, Natureza e Desenvolvimento.

1. Risco hídrico. 2. Reúso pluvial. 3. Conhecimento. 4. Santarém. 5. Maputo. I. Martorano, Lucieta Guerreiro, *orient.*. II. Lima, Celson Pantoja, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 333.913

---

Bibliotecária - Documentalista: Cátia Alvarez – CRB/2 843

**DILMA ÁZIRA ISMAEL CARLOS**

**INDICADORES DE USO EFICIENTE DA ÁGUA EM AGRICULTURA FAMILIAR  
IRRIGADA SOB CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL E NA  
ÁFRICA AUSTRAL**

Tese submetida conforme as exigências para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais do Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), na Linha de pesquisa: Impactos Ambientais e Sociais da Mudança do Uso da Terra na Amazônia.

Data da defesa: 11/12/2023

Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente  
**LUCIETA GUERREIRO MARTORANO**  
Data: 12/12/2023 14:06:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup> Dra. Lucieta Guerreiro Martorano- PPGSND/UFOPA (Presidente e orientadora)

 Documento assinado digitalmente  
**CELSON PANTOJA LIMA**  
Data: 11/12/2023 20:15:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Celson Pantoja Lima – PPGSND/ UFOPA (Coorientador)

 Documento assinado digitalmente  
**THIAGO ALMEIDA VIEIRA**  
Data: 12/12/2023 13:59:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Thiago Almeida Vieira – PPGSND/ UFOPA

 Documento assinado digitalmente  
**CARLOS TADEU DOS SANTOS DIAS**  
Data: 11/12/2023 22:21:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias – ESALQ



---

Prof. Dr. Pierre Maliem Matungul – FAG/USTM

 Documento assinado digitalmente  
**MARIA DE LOURDES BERNARTT**  
Data: 11/12/2023 20:27:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Maria de Lourdes Bernartt – PPGDR/UTFPR

 Documento assinado digitalmente  
**VICTOR HUGO PEREIRA MOUTINHO**  
Data: 11/12/2023 20:31:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof Dr. Victor Hugo Pereira Moutinho – PPGSND/UFOPA

## DEDICATÓRIA

Eu dedico carinhosamente este trabalho a três mulheres que tiveram muita influência em minha vida: A minha mãe Munira Zahara Ossemane Ismael que com muito zêlo e dedicação, dentro de suas possibilidades abdicou da sua vida para viver a minha, me ver crescer e alcançar os meus sonhos sempre na plateia, ela sente a minha dor e comemora as minhas alegrias como se fossem suas.

Hoje, me ver atingir este grau é um momento especial para nós duas, mas principalmente para mim que sou filha de uma mulher que por diversas razões estruturais e sociais, abdicou de seus estudos e ainda assim, sempre disponibilizou todos os recursos que tinha para que sua filha estudasse. Para ela é na educação que encontramos o real segredo da vida. Obrigada mãe por tudo que és, fizeste e fazes por mim.

As minhas avós materna (*in memoriam*) Mariamo Mussá Oussemane Bimá e paterna Isabel Honwana por serem exemplos de amor, luta, perseverança, luz e muita sabedoria, onde quer que vocês estejam, obrigada por olharem por mim.

*“Nobody warned you that the women whose feet you cut from running would give birth to daughters with wings (Umebinyuo, 2015, online)*

## AGRADECIMENTOS

Endereço o meu profundo agradecimento a Allah (Deus) por ter me concedido a dádiva da vida, ter me dado saúde e forças para sonhar e caminhar firme diante de todas as adversidades. Quando se caminha pelos próprios pés, muitas dádivas vão surgindo, como, por exemplo, as pessoas de luz que conheci ao longo da minha caminhada, gratidão eterna pelos ensinamentos e grande apoio.

Agradeço ao meu pai João Carlos e minha mãe Munira Ismael por terem me ensinado discernir o bem e o mal e por sempre apoiarem as minhas escolhas, onde aproveito para registrar meu pedido de desculpas pelas vezes que estive ausente quando precisaram de mim.

Os meus agradecimentos são extensivos ao governo de Moçambique e ao governo Brasileiro pela cooperação bilateral que culminou com o programa ProAfri que possibilitou os avanços técnico-científicos, extensivo às agências de fomento: CAPES, Instituto de Bolsas de Moçambique e Ministério da Ciência e Tecnologia.

Gostaria também de agradecer a minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dra Lucieta Martorano por ser uma “mãe científica”, obrigada por todo incentivo, apoio, dedicação e o tempo dedicado ao fornecimento de ensinamentos valiosos para minha vida profissional. E agradeço ao meu co-orientador Prof. Dr. Celson Lima por todo encorajamento, disponibilidade e aprendizado, com certeza que os vossos ensinamentos têm contribuído para o meu desenvolvimento pessoal e profissional, porque vocês são referências de profissionais para mim.

O meu obrigado aos demais professores do Programa de Pós-Graduação Sociedade Desenvolvimento e Natureza-PPGSND da UFOPA com quem tive a oportunidade de aprender muito. Agradeço todo o carinho que me foi atribuído, especialmente a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana Carvalho e o seu esposo Alexandre que me receberam em sua residência, nos meus primeiros momentos, quando cheguei em Santarém. Ao corpo técnico e administrativo da UFOPA e da PROPIT, em especial a Prof<sup>a</sup> Dra Lenize Vargas, à coordenação do programa PPGSND, aos professores Humberto Minervino, Sergio Melo e João Ricardo (*in memoriam*) na condição de coordenadores, bem como aos professores Victor Moutinho, David Mcgrath, José Roberto, Thiago Almeida e toda a comunidade acadêmica que direta ou indiretamente sempre me trataram com muita cordialidade e acolhimento.

Aos meus colegas Sérgio Melo, Wandicleia Lopes, Veridiana Barreto, Avner Gaspar, Ernélison Silva, Lizandra Elizário, Ana Carolina, Josineide Pamplona, Marcélia Cardoso e outros companheiros da turma, na expectativa que todos tenhamos muito sucesso

nesta jornada, amo vocês. Aos produtores em Lavras e no Vale do Infulene por terem aceito fazer parte da pesquisa, meu muito obrigada. A Universidade São Tomás de Moçambique, especialmente ao Dr. Joseph Wamala, Dr. Pierre Matungul e Dr. Artur Saúde que me incentivaram tanto para continuar os meus estudos. Os agradecimentos são extensivos a todos os colegas da USTM em especial aos da Faculdade de Agricultura e do Departamento de pesquisa. Não poderia deixar de registrar meu carinho e agradecimento a minha irmã, Leila Carlos e aos meus sobrinhos amados Tahir Afzal e Tariq Kemal, amo vocês. A todos os meus amigos queridos, sempre presentes mesmo distantes. Aos poucos vou descobrindo que nesta caminhada quando decidimos trilhar para viver um sonho, mais valem as tentativas do que os fracassos. Muito obrigada.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”  
(King, 1963, online)*

## RESUMO

Os recursos hídricos potáveis são limitados, sendo que mais de 70% dessa água é usada para fins de irrigação agrícola. A escassez hídrica no solo está entre as principais limitações na expressão do potencial produtivo de uma cultura. Entre as estratégias de decisão em períodos de deficits hídricos está a adoção de sistemas de irrigação para garantir a produtividade em cada ano/safra, mas é necessário apontar indicadores de sustentabilidade na agricultura. Assim, objetivou-se analisar indicadores de uso eficiente da água sob condições climáticas na Amazônia Oriental e na África Austral usando como estratégia uma tecnologia de irrigação com potes de argila, na agricultura de base familiar. Foram adotados métodos quantitativos e qualitativos, onde a partir de ferramentas de diagnóstico usando dados secundários obteve-se os indicadores de risco qualitativos, quantitativos, regulatórios e reputacionais das bacias hidrográficas que abastecem as áreas agricultáveis dos dois Países (Brasil e Moçambique). Verificou-se que os riscos entre as bacias hidrográficas são diferentes, onde Santarém ficou na categoria de baixo a médio e, a de Maputo com risco alto, sinalizando maior atenção quanto ao uso dos recursos hídricos em cultivos irrigados em Maputo. Os dois municípios possuem alto risco regulatório e reputacional, riscos em contaminação de mananciais e águas subterrâneas. Utilizando-se balanços hídricos foram estimados os estoques de água no solo para avaliar a escalabilidade da irrigação, nos dois países. Constatou-se que, principalmente os horticultores na província de Maputo necessitam da adoção de estratégias para reposição hídrica durante quase o ano todo. Em Santarém, os agricultores de base familiar, principalmente em anos de extremos climáticos como El Niño demandam de estratégias de irrigação, entre os meses de agosto a novembro quando há intensificação na redução das chuvas na região. Foi diagnosticado, a partir da autorização do comitê de ética, o perfil dos horticultores no Vale do Infulene, em Maputo possuem baixo nível escolar com predominância na faixa etária superior a 50 anos de idade. Também, constatou-se que a irrigação manual é utilizada, a partir de águas subterrâneas, rios. A partir da instalação de um ensaio didático, confirmou-se que em Maputo existe matéria-prima para serem implantadas unidades à semelhança da Unidade de Referência Tecnológica (URT), instalada desde 2016 na comunidade de Lavras, em Santarém, no oeste do estado do Pará. Também, constatou-se que a URT é um espaço típico da teoria de Ba, pois tem consolidado conhecimentos sobre a tecnologia de irrigação que reusa água da chuva e possui uma solução que abastece os potes de forma autônoma sendo um modelo estratégico de integração do conhecimentos entre os atores responsáveis pela implantação, adoção e transferência da tecnologia, denominada de IrrigaPote. Aplicando-se a matrix Fofa

(SWOT), observou-se que essa é uma tecnologia social que aponta indicadores de uso eficiente da água para garantir a oferta de alimentos usando práticas conservacionistas no uso eficiente da água nos dois países, extensivo à qualquer outra região agrícola produtiva, desde que exista pote de argila, gerando alimento, emprego e renda aos agricultores e novas oportunidades para artesãos.

**Palavras chave:** Risco hídrico. Reúso pluvial. Conhecimento. Santarém, Maputo.

## ABSTRACT

Potable water resources are limited, with more than 70% of this water is being used for agricultural irrigation purposes. Water scarcity in the soil is among the main limitations in expressing the productive potential of a crop. Among the decision-making strategies in periods of water deficits is the adoption of irrigation systems to guarantee productivity in each year/harvest, but it is necessary to point out indicators of sustainability in agriculture. Thus, the objective was to analyze indicators of efficient water use under climatic conditions in the Eastern Amazon and Southern Africa using irrigation technology with clay pots as a strategy, in family-based agriculture. Quantitative and qualitative methods were adopted, where, from diagnostic tools using secondary data, qualitative, quantitative, regulatory and reputational risk indicators of the river basins that supply the agricultural areas of the two countries (Brazil and Mozambique) were obtained. It was found that the risks between the river basins are different, where Santarém was in the low to medium category and Maputo was at high risk, signaling greater attention to the use of water resources in irrigated crops in Maputo. The two municipalities have high regulatory and reputational risk, risks of contamination of springs and groundwater. Using water balances, water stocks in the soil were estimated to assess the scalability of irrigation in both countries. It was found that, especially horticultures in the province of Maputo, need to adopt strategies for water replacement almost throughout the year. In Santarém, family-based farmers, especially in years of climatic extremes such as El Niño, demand irrigation strategies, between the months of August and November when there is an intensification in the reduction of rainfall in the region. Based on the authorization of the ethics committee, it was diagnosed that the profile of horticulturists in Vale do Infulene, in Maputo, has a low educational level with a predominance of those over 50 years of age. Also, it was found that manual irrigation is used, from groundwater, rivers. From the installation of a didactic test, it was confirmed that in Maputo there is raw material to implement units similar to the Technological Reference Unit (URT), installed since 2016 in the community of Lavras, in Santarém, in the west of the state of Pará. Also, it was found that the URT is a typical space of Ba's theory, as it has consolidated knowledge about irrigation technology that reuses rainwater and has a solution that supplies the pots autonomously, being a strategic model of integration of knowledge among the actors responsible for the implementation, adoption and transfer of the technology, called IrrigaPote. Applying the Fofa matrix (SWOT), it was observed that this is a social technology that points out indicators of efficient use of water to guarantee the supply of food using conservation practices in the efficient use of water in both countries, extending to any other region productive

agriculture, as long as there is a clay pot, generating food, employment and income for farmers and new opportunities for artisans.

**Keywords:** Water risk. Rainwater reuse. Knowledge. Santarém, Maputo.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Contextualização da pesquisa .....	3
1.2 Motivação de pesquisa.....	4
1.3 Delimitação do Problema .....	6
1.4 Objetivos da pesquisa .....	9
1.4.1 Objetivo Geral.....	10
1.4.2 Objetivos específicos.....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
2.1 Eficiência da irrigação e do uso da água.....	11
2.2 Manejo da Irrigação .....	12
2.3 Panorama situacional dos recursos hídricos .....	14
2.4 Marcos legais relacionados aos Recursos Hídricos no Brasil e em Moçambique.....	16
2.5 Indicadores de sustentabilidade .....	19
2.5.1 Indicadores de sustentabilidade pelo uso e reúso da água na agricultura .....	21
2.6 Segurança hídrica e dimensões de uso sustentável .....	24
2.7 Limitações de acesso a água e classificação da escassez hídrica.....	25
2.8 Agricultura Irrigada no Oeste do Pará e no Sul de Moçambique .....	27
2.9 Ferramenta de suporte à gestão de riscos associados aos recursos hídricos.....	29
2.10 Balanço Hídrico na indicação dos estoques de água no solo.....	32
2.11 Fatores a considerar no planejamento do sistema de irrigação.....	33
2.11.1 Métodos de irrigação.....	36
2.12 Tecnologia sustentável no contexto dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS).....	38
2.13 Irrigação por potes de argila: Contexto histórico.....	40
2.13.1 Estudos prévios realizados sobre o uso de irrigação com potes de argila.....	41
2.13.2 Projeto de irrigação com potes de argila no Oeste do Pará.....	43
2.14 Gestão do conhecimento: a sua importância e caracterização .....	44
2.14.1 Caracterização do processo de conversão do conhecimento.....	46
2.14.2 A teoria do Espaço Ba .....	47
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	50
3.1 Descrição das áreas de abrangência do estudo .....	50

3.1.1 Comunidade de Lavras.....	50
3.1.2 Vale do Infulene .....	51
3.1.3 Khongolote .....	52
3.1.3.1 Caracterização climática da Província de Maputo (área do ensaio didático).....	52
3.1.4 Caracterização das Bacias hidrográficas do Rios Tapajós e do Rio Infulene .....	55
3.2 Coleta de dados para análise .....	57
3.2.1. Calibragem da ferramenta de predição dos riscos hídricos.....	58
3.3. Dados de avaliação climática (temporal) de Santarém e Maputo.....	61
3.3.1. Método para estimar o BH no solo em séries históricas em Santarém e em Maputo .....	62
3.4. Dinâmica de campo para identificação do espaço Ba junto aos produtores da comunidade de Lavras.....	63
3.5. As dinâmicas participativas realizadas no vale do infulene em Maputo .....	66
3.6 Ensaio experimental para a replicabilidade da irrigação com potes de argila em Maputo .....	67
3.6.1. Processo de instalação do ensaio experimental.....	68
3.6.2. Seleção das sementes, sementeira e delineamento experimental do feijoeiro .....	71
4. MODELO CONCEITUAL DE INDICADORES DE RISCO HÍDRICO, DO CONHECIMENTO E POTENCIALIDADES GERADAS PELA TECNOLOGIA DE IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL NA AGRICULTURA .....	73
4.1. Objeto central da tese.....	73
4.2 Diagrama estrutural da tese.....	74
4.3. Modelo conceitual da pesquisa .....	76
4.4. Visão da pesquisa.....	78
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	80
5.1 Validação das variáveis usadas através do teste de confiabilidade do questionário.....	80
5.2 Panorama situacional dos riscos nas bacias hidrográficas de Santarém e do Vale do Infulene em Maputo.....	81
5.3 Padrões climáticos e avaliação de desempenho hidrológico em Santarém na Amazônia Oriental e em Maputo na África Austral .....	92
5.4 Histórico de Balanço hídrico climático para o contexto de Santarém e Maputo.....	95
5.5 Conversão do conhecimento na URT entre diferentes atores na irrigação com potes de argila na Comunidade de Lavras .....	98
5.5.1 Identificação do Ba na tecnologia de Irrigação.....	100

5.6 Mudanças geradas nos cultivares dos produtores em Lavras .....	104
5.7 Análise da percepção dos produtores sobre o domínio do conhecimento gerado antes e depois da irrigação com potes de argila .....	107
5.8 Aspectos a considerar no sistema de irrigação com potes de argila e mudanças geradas em seu entorno .....	114
5.9 Descrição socioeconômica dos agricultores do Vale do Infulene que potencializa a irrigação com potes de argila .....	119
5.9.1 Fatores associados a água de irrigação na óptica dos produtores agrícolas de base familiar no Vale do Infulene em Maputo .....	126
5.10 Comparação entre as tecnologias de manejo da irrigação convencional e de potes de argila .....	132
5.11 Potencial das tecnologias de irrigação com potes de argila e sua viabilidade nas condições de Vale do Infulene .....	133
5.12 Aptidão para a replicabilidade da tecnologia de irrigação com potes de argila no.....	136
desenvolvimento das plantas .....	136
6. CONCLUSÃO .....	143
6.1 Resultados Esperados x Resultados Alcançados .....	144
6.2 Limitações e desafios da pesquisa .....	147
6.3 Recomendações e sugestões para trabalhos futuros.....	147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	149
ANEXOS .....	175
ANEXO I. DECLARAÇÃO DO COMITÊ DO BIOÉTICA.....	175
ANEXO II TERMO DE CONSENTIMENTO .....	176
ANEXO III QUESTIONÁRIO .....	178
ANEXO IV GUIÃO DE ENTREVISTA.....	184
ANEXO V. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ESTUDO.....	185
ANEXO VI. ANÁLISE FATORIAL.....	187

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Panorama situacional dos dois métodos de irrigação utilizados pelos produtores de Santarem no Oeste do Pará e em Moçambique na África Austral .....	9
<b>Figura 2</b> Imagem ilustrativa da funcionalidade do sistema de irrigação com potes de argila na Unidade de referência tecnológica em Lavras- Área do projeto IrrigaPote .....	44
<b>Figura 3</b> Criação do conhecimento no modelo de Socialização, Externalização, Combinação e Internalização (SECI) .....	47
<b>Figura 4</b> Representação conceitual do Ba .....	49
<b>Figura 5</b> Imagem ilustrativa das áreas de abrangência do estudo: Lavras no Município de Santarém-Pará.....	53
<b>Figura 6</b> Imagem ilustrativa das áreas de abrangência do estudo: Província de Maputo, (Vale do Infulene e Khongolote ) .....	54
<b>Figura 7</b> Padronização dos indicadores de risco hídrico para fins agrícolas.....	60
<b>Figura 8</b> Etapas de socialização da dinâmica em campo para coleta de conhecimentos e mudanças geradas na URT através da teoria do espaço Ba.....	64
<b>Figura 9</b> Processo de produção dos potes usados no ensaio experimental.....	68
<b>Figura 10</b> Preparação do campo para o ensaio experimental .....	69
<b>Figura 11</b> Instalação do sistema de irrigação com potes de argila no ensaio experimental.....	71
<b>Figura 12</b> Ensaio experimental da irrigação com potes de argila no campus da USTM.....	72
<b>Figura 13</b> Diagrama estrutural da tese.....	75
<b>Figura 14</b> Diagrama conceitual da tese .....	78
<b>Figura 15</b> Riscos gerais que afetam às bacias hidrográficas de Santarém e Maputo .....	82
<b>Figura 16</b> Mapas ilustrando os riscos quantitativos em Santarém e em Maputo .....	83
<b>Figura 17</b> Mapas ilustrando os riscos qualitativos .....	87
<b>Figura 18</b> Mapas ilustrando os riscos regulatórios e reputacionais .....	90
<b>Figura 19</b> Projeções do aumento de temperatura e seus efeitos no stress hídrico e vulnerabilidade sazonal .....	91
<b>Figura 20</b> Diferenças de temperatura e precipitação em Santarém e em Maputo .....	93
<b>Figura 21</b> Diferenças de umidade relativa e deficit hídrico em Santarém e em Maputo .....	95
<b>Figura 22</b> Variação mensal de precipitação pluvial, déficits e excedentes hídricos em Santarém, Pará, Amazônia Oriental.....	96
<b>Figura 23</b> Variação mensal de precipitação pluvial, déficits e excedentes hídricos para uma em Maputo, Moçambique, África Austral.....	97

<b>Figura 24</b> Adaptação do modelo SECI para descrever o processo de criação de conhecimento na implementação da irrigação com potes de argila na comunidade de Lavras, Santarem- Pará .....	99
<b>Figura 25</b> Identificação dos atores e fontes do conhecimento no Espaço Ba para o projeto em Lavras .....	104
<b>Figura 26</b> Análise multidimensional com a percepção sobre as mudanças percebidas pelos agricultores e seus familiares.....	109
<b>Figura 27</b> Representação do Scree plot e da variância .....	110
<b>Figura 28</b> Análise de agrupamentos sobre as temáticas de domínio dos produtores .....	112
<b>Figura 29</b> Identificação de fatores internos e externos na irrigação em Lavras (Matrix FOFA) .....	115
<b>Figura 30</b> Faixa etária dos agricultores entrevistados na área de estudo em Moçambique..	121
<b>Figura 31</b> Grau de escolarização entre os irrigantes no Vale do Infulene.....	122
<b>Figura 32</b> Irrigação manual sendo realizada pelos produtores no Vale do Infulene .....	124
<b>Figura 33</b> Classificação dos níveis de irrigação ao longo dos meses no ano .....	134
<b>Figura 34</b> Classificação produtores sobre os níveis de dificuldade em irrigar ao longo do ano no Vale do Infulene .....	135
<b>Figura 35</b> Escala fenológica do feijão e duração média do ciclo de cada subperíodo nas fases de desenvolvimento do experimento fases de crescimento no campo experimental de Khongolote (Vale do Infulene).....	137
<b>Figura 36</b> Consumo hídrico durante o crescimento da cultura de feijão .....	138
<b>Figura 37</b> Tecnologia de irrigação com potes de argila e indicadores identificados ao longo do experimento em campo.....	141

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Classificação e limites das variáveis de risco qualitativo, quantitativo e reputacional.....	59
<b>Tabela 2</b> Coordenadas geográficas de Santarém e Maputo .....	61
<b>Tabela 3</b> Resultados do teste piloto para aferir a veracidade do questionário.....	81
<b>Tabela 4</b> Descrição do grupo de produtores de base familiar entrevistados.....	120
<b>Tabela 5</b> Indicadores qualitativos sobre a visão dos produtores quanto aos fatores ambientais e econômicos relacionados ao uso da água na agricultura .....	127
<b>Tabela 6</b> Informações dos produtores sobre o uso da água em experiências diárias.....	128
<b>Tabela 7</b> Extração de variáveis em fatores .....	129
<b>Tabela 8</b> Resultado do coeficiente KMO e Bartlett test .....	131

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> Aspectos legais relacionados aos recursos hídricos no Brasil e em Moçambique..	17
<b>Quadro 2</b> Recursos hídricos e seus indicadores de sustentabilidade.....	22
<b>Quadro 3</b> Descrição dos indicadores de risco nas bacias hidrográficas.....	31
<b>Quadro 4</b> Etapas, fases, identificação dos objetivos e dos impactos dos projetos de irrigação e suas características.....	34
<b>Quadro 5</b> Vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de irrigação .....	37
<b>Quadro 6</b> Resultados publicados sobre a adoção de irrigação com potes de argila.....	42
<b>Quadro 7</b> Evidências do Ba na URT .....	103
<b>Quadro 8</b> Culturas produzidas em de irrigação convencional e após a implementação do sistema de irrigação com potes de argila .....	106
<b>Quadro 9</b> Procedimento cluster evidenciando o relacionamento entre o conhecimento gerado antes e depois da Irrigação com potes de argila .....	107
<b>Quadro 10</b> Matriz de correlação entre as variáveis de estudo.....	108
<b>Quadro 11</b> Descrição dos novos conceitos do agricultor após o sistema de irrigação com potes de argila na visão dos agricultores e seus parentes .....	111
<b>Quadro 12</b> Comparação entre aspetos técnicos sobre as tecnologias de irrigação convencionais e com potes de argila.....	132
<b>Quadro 13</b> Síntese dos resultados da tese .....	145
<b>Quadro 14</b> Direcionamento das recomendações da pesquisa.....	148
<b>Quadro 15</b> Descrição das variáveis no estudo.....	185

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de componenetes principais
AQUASTAT	Agência de estatísticas sobre a água
ANA	Agência nacional de águas
AWR	Aqueduct water risk
BM	Banco mundial
CAD	Capacidade de água disponível no solo
CIAT	Centro internacional de agricultura tropical
COP	Confêrencia entre as partes
CMM	Conselho municipal da cidade de Maputo
DAURH	Declaração anual de uso de recursos hídricos
DAS	Dias após sementeira
ECMWF	Centro europeu de previsões meteorológicas de médio prazo
EMBRAPA	Empresa brasileira de pesquisa agropecuária
ENRH	Estratégia nacional de recursos hídricos
EP	Evaporação
Ept	Evapotranspiração
FMI	Fundo monetário internacional
FAO	Food agriculture organization
FOFA	Forças, fraquezas, ameaças e oportunidades
GCM	Modelos de circulação geral
GEE	Gases de efeito estufa
GRID	Grade de design
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
INE	Instituto nacional de estatística
INPE	Instituto nacional de pesquisa espaciais
IPCC	International panel on climate change
IWRM	Integrated international water resources management
LI	Linha de instabilidade
MASA	Ministerio da agricultura e segurança alimentar
MDPREF	Análise multidimensional não métrica
NASA	Administração nacional da aeronáutica e espaço
OCDE	Organização para a cooperação e desenvolvimento económico
ODM	Objetivos do desenvolvimento do milênio

ODS	Objetivos do desenvolvimento sustentável
ONU	Organização das nações unidas
PH	Pegada hídrica
PSA	Pagamento por serviço ambiental
PIB	Produto interno bruto
PNPSA	Política nacional de pagamentos por serviços ambientais
PNRH	Plano nacional de recursos hídricos
PNUD	Programa das nações unidas para o desenvolvimento
PPGSND	Programa de pós graduação em sociedade natureza e desenvolvimento
PRINQUAL	Componentes principais para dados qualitativos
SADC	Comunidade para o desenvolvimento da África Austral
SAS	Sistema de soluções analíticas
SENAR	Serviço nacional de aprendizagem rural
SECI	Socialização, externalização, combinação e internalização
SETSAN	Secretariado técnico de segurança alimentar e nutricional
SF	Sistemas frontais
SPSS	Pacote especial para ciencias sociais
SWOT	Strengths, weaknesses, opportunities e threats
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
TSI	Tecnologias sociais de irrigação
UNESCO	Organização das nações unidas para a educação, a ciência e a cultura
UFOPA	Universidade federal do Oeste do Pará
UPLAN	Unidades Hidrográficas de Planejamento
USTM	Universidade São Tomás de Moçambique
URT	Unidade de referência tecnológica
VCAN	Vértice ciclônicos de altos níveis
WEF	Fórum económico mundial
WMO	Organização meteorológica mundial
WRI	World resource institute
WWF	World wild fund for nature resource institute
ZCAS	Zona de convergência do atlântico
ZCIT	Zona de convergência intertropical

## 1. INTRODUÇÃO

O acesso universal e equitativo à água é um direito das populações, independentemente da condição social, econômica, cultural, gênero ou etnia (Jacobi et al., 2020). A equidade social tem como instrumento norteador a Agenda 2030, com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos em 2015 pela Organização das Nações Unidas (ONU), que define ações globais para atingir metas em diversas áreas (e.g. o combate a fome, a proteção do planeta e da biodiversidade, garantia de paz e prosperidade), orientando políticas nacionais e atividades de cooperação internacional pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2015).

Neste contexto, o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre os Recursos Hídricos indica que a agricultura é responsável por 70% da exploração global de água doce, podendo chegar a 90% em algumas economias em países em desenvolvimento (Rieu-clarke et al., 2015). A demanda por água tem aumentado em decorrência do crescimento da urbanização, expansão agrícola e da indústria (Bouaroudj et al., 2019).

Perante ao exposto, a garantia em termos de quantidade e qualidade de água é tida como uma das principais preocupações globais (De Carvalho et al., 2021), visto que diversos países estão enfrentando desafios no que diz respeito a qualidade da água (Su et al., 2019) em virtude da constante deteriorações resultantes dos diferentes usos que o impactam negativamente (Simonetti et al., 2019). Sua qualidade está diretamente associada com a forma de como o ser humano se apropria e utiliza o solo, sendo a perda da qualidade frequentemente acarretada pela ocupação desenfreada e desordenada na bacia hidrográfica (Bian et al., 2019).

A tese diagnostica os riscos hídricos associados às bacias hidrográficas no Brasil e Moçambique, valendo-se da ferramenta de simulação Aqueduct water risk, desenvolvida pela World Resources Institute (WRI), uma instituição que desenvolve pesquisa em mais de 50 países em áreas como energia, clima, agricultura, alimentos, negócios, economia e oceanografia. O Aqueduct faz o diagnóstico de riscos hídricos globais, gerando mapas (de riscos) com base em dados disponíveis. Com a ajuda desta ferramenta realizou-se o levantamento dos riscos nas bacias hidrográficas de Santarem no Oeste do Pará e em Maputo no sul de Moçambique para melhorar o planejamento de bacias hidrográficas onde se concentram os maiores usuários para permitir uma gestão da irrigação. É sabido que os riscos em torno da água assumem várias formas e categorizações de acordo com a sua exposição, e são condicionados pelas operações agrícolas e cadeias de abastecimento que podem influenciar em altos impactos financeiros (WWF,2018).

Neste contexto foi identificado um projeto de irrigação com base em potes de argila gerou impactos significativos em nível sócioeconômico no contexto da agricultura de base familiar no Brasil (Martorano, 2020). O conhecimento, as interações e os contornos da repercussão dessa tecnologia no mundo foram mapeados na tese, reforçando que o processo de criação do conhecimento é específico ao contexto em termos de tempo, espaço e relacionamento com outros atores envolvidos direta e indiretamente (Nonaka et al., 2008). Durante a execução da pesquisa, a teoria de criação de conhecimento Ba foi aplicada para identificar espaços (físicos, virtuais e mentais) propícios para a criação e a partilha de conhecimento existente antes, durante e depois do projeto, em Lavras, no Município de Santarém, estado do Pará, Brasil. Um espaço Ba promove a criação de uma rede de atores que geram, partilham e aplicam conhecimento sobre a gestão da água em tecnologias sustentáveis, motivados por elementos culturais, sociais e informacionais, e estratégicos de posicionamento no mercado.

Os contornos da tecnologia social e a internacionalização da mesma, permitiu com que uma análise do potencial de replicabilidade no contexto Africano fosse realizada para maior alargar a amplitude de consolidação do impacto da tecnologia e testar a sua adaptabilidade em outro contexto. Assim, esta pesquisa identificou também as potencialidades de implementação da tecnologia de irrigação por potes de argila aos produtores de base familiar, afim de trazer um suporte técnico e didático. Os experimentos foram realizados em campo experimental da Universidade São Tomás de Moçambique sobre a irrigação de baixo custo para o Vale do Infulene em Moçambique associados ao perfil sociocultural dos produtores de base familiar na região.

A tese foi estruturada da seguinte forma: o capítulo I é o introdutório da tese onde apresenta-se a contextualização, a motivação da pesquisa, os objetivos, a delimitação do problema e as questões norteadoras da tese. O capítulo II apresenta-se o referencial teórico que embasaram a pesquisa; O capítulo III descreve-se a metodologia usada para atingir-se os objetivos da tese, onde descreveu-se a áreas de estudo, as técnicas e ferramentas usadas para coletas de dados, a caracterização climática e os instrumentos usados para ensaio didático. No capítulo IV descreveu-se o modelo conceitual e estrutural da tese, a visão da pesquisa. O capítulo V são apresentados os resultados da pesquisa e a devida discussão, e por fim, no capítulo VI apresentam se as conclusões, recomendações e limitações da pesquisa.

## 1.1 Contextualização da pesquisa

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) aponta inúmeras barreiras para a imposição de uma definição rígida para a agricultura sustentável, embora apresente consenso ao elencar como formas sustentáveis de agricultura as práticas e tecnologias que: i) usam técnicas integradas de manejo, as quais mantêm a integridade ecológica dentro e fora da propriedade; ii) são necessariamente flexíveis e adaptadas para locais específicos; preservam a biodiversidade, os atrativos da paisagem natural e outros bens públicos não avaliados pelos mercados existentes; iii) são lucrativas para os produtores a longo prazo; e iv) são economicamente eficientes sob o ponto de vista social (Carvalho et al., 2013).

Por sua vez, Philippi Jr et al. (2014) considera que a economia convencional ou neoclássica apresenta características de sistema fechado em que os empreendimentos comercializam bens e serviços, remunerando fatores de produção (terra, trabalho e capital) com foco nos preços, alimentado pela modelo vigente. Em contraponto, a economia ecológica tem o planeta como um sistema aberto, em que é exigida a entrada de energia e materiais e ocorre a produção de dois tipos de resíduos (materiais, que por meio da reciclagem podem voltar a ser parcialmente utilizados), e o calor dissipado ou energia degradada, esse último reciclado espontaneamente pelos ciclos naturais, a exemplo do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que os animais emitem e é absorvido pelas plantas (Carvalho et al., 2013).

A produção de alimentos assume um importante papel na formação do novo paradigma do desenvolvimento sustentável. Não basta apenas produzir em maior quantidade, é preciso manter o nível dos recursos ambientais para que as próximas gerações continuem produzindo. A sustentabilidade não tem como foco apenas na questão ambiental, ela também inclui mais dimensões associando ao meio ambiente, a economia e o bem-estar social, de modo que a sociedade precise buscar o balanço desses três pilares (Finkbeiner et al., 2010). Para isso, Deggorone et al. (2018) consideraram importante que se detenham informações a respeito dos elementos destas três dimensões e de suas tendências através do desenvolvimento e aplicação de sistemas de indicadores e ferramentas de avaliação da sustentabilidade.

A necessidade de preservação e conservação dos recursos naturais leva a ciência á busca dos mais diversos caminhos. A água é um recurso essencial à vida e deve ser conservado em termos qualitativos e quantitativos para garantir o abastecimento às populações atuais e futuras. No sector da agricultura, sua intensificação para atender às crescentes demandas por alimentos e energia tem sido um fato evidente. A irrigação constitui uma parte do consumo agrícola de água, mas é responsável por mais de 40% da produção mundial. Em muitos países,

a disponibilidade de água para a agricultura já é limitada e incerta, e espera-se que essa situação piore ainda mais (Rieu-clarke et al., 2015). Muitos dos impactos dos riscos naturais sobre o desenvolvimento socioeconômico ocorrem por meio da água. Atualmente, a abordagem da limitação dos recursos hídricos tem sido bastante destacada (Zhuo et al., 2016).

O Planejamento das áreas irrigadas deve considerar análises que estudem a eficiência do uso da água na agricultura em nível , considerando o manejo adequado do solo, a necessidade da cultura em cada estado fenológico e ao consumidor final para que todos estejam ao alcance das políticas governamentais que visam atenuar a escassez hídrica (Villa et al., 2022).

A tecnologia de irrigação é vista como indispensável para aumentar a produtividade e atender a uma demanda crescente por alimentos, a expansão da área irrigada tem intensificado a concorrência no uso da água com o setor energético, a indústria e o consumo doméstico. Como a água é um recurso natural limitado e estratégico para o crescimento econômico da nação, sua racionalização é de extrema importância (Faria et al.,2002).

A gestão da água destinada à irrigação está entre as questões mais difíceis de lidar e por ser fortemente integrada com a insegurança alimentar. Ao considerar a precipitação pluvial, nota-se que ao longo dos anos várias regiões caracterizadas por baixos valores e isto reflete-se em perdas econômicas que são facilmente detectadas no mercado pela baixa oferta de produtos e preços elevados (IPCC, 2021). Pelo potencial oferecido por recursos tecnológicos para ajudar a reafirmar importantes compromissos estabelecidos no contexto dos objetivos do ODS, prospectando-se em um cenário produtivo com base na Agenda 2030, é importante destacar que a produção de alimentos deve ser pautada no uso conservacionista dos recursos naturais principalmente a água (Borgomeo e Santos, 2019).

## **1.2 Motivação de pesquisa**

A interface dos recursos hídricos na agricultura respaldada no âmbito acadêmico-científico e de gestão apontam para dificuldades em sua operacionalização. Apesar da água ser um recurso vital e de grande importância socioeconômica, o seu gerenciamento ao longo dos anos ainda é desafiador principalmente na agricultura de base familiar. Estudos realizados por Isaias (2008), Veiga (2010) e Zanchetta et al. (2021) mostram a complexidade em apontar indicadores de sustentabilidade e simular demanda hídrica, pela sua complexidade e múltiplas interpretações.

Assim, a tese levanta indicadores que podem contribuir para que os futuros pesquisadores do tema desmistifiquem aspectos relevantes sobre aos indicadores qualitativos, quantitativos, regulatórios e reputacionais dos recursos hídricos e evidencia as melhores práticas de irrigação a partir de um projeto piloto usando potes de argila instalados na comunidade de Lavras, no Oeste no Pará, que é perfeitamente ajustável ao contexto da agricultura de base familiar no Brasil e em Moçambique como um método de irrigação sustentável por adotar práticas de manejo que maximizam a sua eficiência pelo reúso pluvial, disponibilizando as necessidades reais de água nas culturas.

As relações bilaterais entre os dois países tem sido intensificadas nas últimas décadas, nos termos da cooperação Sul-Sul. Moçambique foi um dos principais destinatários das ações da política internacional do Brasil no continente africano, visando a respaldar o papel deste país como ator político, diplomático, econômico, via internacionalização de empresas brasileiras (Calmon, 2012). Assim, os indicadores sociais, econômicos, técnicos e ambientais identificados na tese apontam para a compreensão de fatores associados a oferta da hídrica no contexto Brasileiro e Moçambicano e, através dela pode-se ter uma solução interdisciplinar que cumpra uma agenda global sobre os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS).

Neste contexto, foi durante a vigência do curso de Doutorado, que teve-se a oportunidade de compreender o funcionamento da tecnologia de irrigação com potes de argila como proposta de solução e melhoria dos problemas relacionados a água, pelas mudanças socio ambientais geradas na propriedade localizada no Oeste do Pará. Assim, a análise realizada sobre sua viabilidade técnico- científica e os contornos da tecnologia na vida das pessoas em termos de conhecimento tácito e explícito foram identificados e validados na tese, e isso foi motivador para a realização produções científicas e ensaios de replicabilidade que representem uma vitrine de aprendizagem para tornar cada vez mais disponível esta tecnologia de irrigação como proposta de solução para o stress hídrico em muitos contextos rurais mocambicanos, e brasileiros que sofrem com a estiagem.

Em nível pessoal a concepção da tese surgiu pelo interesse pelas temáticas relacionadas à gestão de riscos na agricultura (tema de interesse da pesquisadora, por ter trabalhando nessa área desde o nível de graduação e mestrado), sendo esta a principal causa de perdas na agricultura e no fraco investimento no agronegócio em seu país. Além disso, verifica que a agricultura praticada pelas comunidades ainda é de base familiar e associada a alta exposição aos riscos, colocando os produtores cada vez mais vulneráveis, posto que as perdas sofridas entre safras muitas vezes não são estimadas, e não existe um mecanismo de ressarcimento aos produtores.

Todavia, o viés da inovação desta temática também foi um fator motivador, uma vez que junto aos contornos do conhecimento gerado pela irrigação com potes de argila e os espaços onde foram criados conhecimentos e pelas mecanismos de sua difusão pelo mundo trouxe um novo olhar para a agricultura irrigada. Isso fez com que a pesquisadora trabalhasse de maneira interdisciplinar e que reunisse duas linhas de pesquisa dentro do Programa de Pós Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento (PPGSND), sendo embasada por diversas áreas científicas como: a agricultura, a sociologia, as ciências ambientais e o desenvolvimento sustentável para consolidar as variáveis de estudo.

Ademais, tanto para o Programa de pós graduação em sociedade natureza e desenvolvimento (PPGSND) como para a comunidade acadêmica no geral, o estudo pode-se configurar como uma contribuição para o desenvolvimento de soluções simples, eficientes e de baixo custo, para suprir problemas sociais integrados, tais como a gestão hídrica, que afeta a economia e outros sectores de atividade. Pretende-se criar um repositório de conhecimento para servir de base para que estudos futuros possam melhorar a tecnologia dos potes. Os resultados podem fornecer subsídios para que os governos possam validar os riscos em bacias hidrográficas, e se precaver desenvolvendo apoio de tecnológicos aos produtores sempre alinhados ao potencial dos fatores de produção locais.

De que forma, como, quando, O trabalho é importante por representar a estratificação de indicadores de uso da água

### **1.3 Delimitação do Problema**

O Estudo Dubois (2011) alertou para cenários de escassez de alimentos em escala mundial e sobre a correspondente subida dos preços dos produtos agrícolas, colocando os produtores e suas famílias em áreas rurais nos países em vias de desenvolvimento expostos à fome e a pobreza.

No Brasil, especificamente no estado do Pará, município de Santarém, existem fortes pressões quanto à aquisição de terras destinadas ao processo produtivo de grãos, onde a monocultura vem se expandindo cada vez mais, comprometendo assim a manutenção da biodiversidade (Sousa, 2022). Os impactos ambientais decorrentes do desmatamento, as queimadas, a construção de barragens, os desvios de cursos de d'água e o assoreamento dos mananciais que abastecem às comunidades locais têm contribuído para aceleração da pressão sobre os recursos hídricos. Nesse contexto, a disponibilidade de água para a sobrevivência da espécie humana e da biosfera vêm sendo comprometida, seja pela sua diminuição ou pela

possibilidade de contaminação decorrente do uso de produtos químicos no solo, provocando consequências danosas nos corpos hídricos.

Na comunidade de Lavras, no município de Santarém, a maioria dos agricultores familiares depende da agricultura para a sua subsistência, sendo que devido aos elevados custos de instalação de sistemas pressurizados de irrigação, os agricultores ainda são dependentes da oferta pluvial para irrigar. A variabilidade nas condições de tempo e clima na região sempre comprometeram a manutenção da produção em Lavras no período de redução das chuvas. Registros da estiagem que ocorreu em 2015 demonstrou um período de secas severas devido ao fenômeno *el niño* que trouxe impactos significativos aos agricultores, criando limitações ao processo produtivo, perdas econômicas, vulnerabilidade social e substituição de culturas de valor comercial por outras mais tolerantes a seca (Carlos e Martorano, 2020).

Martorano (2020) complementa que no Oeste do Pará, mesmo em regiões onde as chuvas são abundantes como na Amazônia, a variabilidade no regime de precipitação deve ser considerada no planejamento agrícola, para que haja melhor aproveitamento da água pluvial nos meses mais secos. É nesta região onde foi instalado um sistema de irrigação com potes de argila para melhorar o reaproveitamento de águas pluviais em períodos em que os estoques hídricos no solo diminuem.

Por outro lado, em Moçambique apesar da existência de 104 bacias hidrográficas, ainda se considera que a distribuição, a ocorrência e a disponibilidade dos recursos hídricos no país ocorrem de forma desigual e limitada. O setor agrícola é responsável por 60% do consumo de água, onde cerca de 80% da população depende da água da chuva para irrigar e, com esta dependência, o produtor torna-se cada vez mais vulnerável às flutuações climáticas sobretudo porque a incidência das chuvas durante o ano é irregular comprometendo assim a produção alimentar familiar (INE, 2021)

A Direção Nacional dos Recursos Hídricos na sua Estratégia Nacional de Recursos Hídricos (ENGRH, 2007), estratificou as regiões de acordo com o regime de precipitação no país. A precipitação média nas regiões norte e centro do país variam de 800 a 1200 mm, já a região sul varia de 400 a 600 mm, sendo que a zona sul está sob condições climáticas semiáridas, indicando que mesmo com quatro das principais bacias hidrográficas, continua a ser uma região menos privilegiada na distribuição dos recursos hídricos para agricultura.

Todavia, ainda existe uma utopia em torno da excessiva disponibilidade hídrica em diferentes regiões no Brasil e em Moçambique, e isso tem causado uma tendência gradativa ao uso indiscriminado deste recurso natural propiciando as fragilidades ambientais a longo prazo. Face ao panorama situacional descritos no Oeste do Pará e no Sul da província de Maputo em

torno dos recursos hídricos ilustrados na Figura 1 A e B levantam-se as seguintes questões norteadoras do trabalho de tese:

- Quais são os indicadores de riscos nas bacias hidrográficas em Santarém e de Maputo;
- Quais são os indicadores de uso eficiente da água em tecnologia social de irrigação em agricultura familiar sob condições climáticas de Santarém e de Maputo?
- A tecnologia de social de irrigação com potes de argila pode beneficiar os produtores de base familiar?
- Que estratégias podem ser implementadas para permitir a gestão eficiente da água na irrigação familiar?
- Quais foram as mudanças geradas na propriedade, no conhecimento e na vida do produtor rural por vivenciar com a a tecnologia de irrigação com potes de argila
- Existe um perfil de produtores associados ao consumo hídrico em perímetros irrigados de Maputo?
- A tecnologia de irrigação com potes de argila é replicável para o contexto do Vale do Infulene em Maputo?

**Figura 1** Panorama situacional dos dois métodos de irrigação utilizados pelos produtores do Vale do Infulene na Cidade de Maputo (A) e a estratégia de reaproveitamento de água pluvial com base em potes de argila adotadas na Comunidade de Lavras- Santarem- Pará (B)



(A) Sistema da água de irrigação no Vale do Infulene – Maputo/Moçambique



(B) Sistema de irrigação na Comunidade de Lavras – Santarém/Pará/Brasil

Fonte: Autoria própria (2023)

#### 1.4 Objetivos da pesquisa

A presente tese visa a estudar as relações existentes entre os indicadores para analisar a sustentabilidade dos recursos hídricos com vista ao uso eficiente da água na irrigação. A partir da interdisciplinaridade, dentro de um contexto acadêmico de formação, buscando-se relatar procedimentos que, de algum modo, são elementos que interconectam as respectivas ciências e contribuem, de modo sinérgico, para a vida pessoal, profissional e financeira dos produtores e os *stakeholders* aqui analisados, que se tornarão consumidores de tecnologias sociais de irrigação de um modo mais consciente.

### 1.4.1 Objetivo Geral

- ✚ Analisar indicadores de uso eficiente de água na agricultura familiar irrigada nas condições climáticas da Amazônia Oriental e na África Austral.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- ✚ Avaliar os indicadores de riscos qualitativos, quantitativos, regulatórios e reputacionais em bacias hidrográficas que abastecem os polos de produção agrícola em Lavras no Pará e no Infulene em Maputo.
- ✚ Estabelecer indicadores de sustentabilidade nas dimensões: técnica, ambiental, social, e econômica em torno da tecnologia social de irrigação com potes de argila.
- ✚ Descrever as potencialidades que produtor familiar tem na adoção de tecnologias de reúso da água com efeito mitigador para as restrições hídricas pelo conhecimento gerado entre atores.
- ✚ Propor medidas de restaurativas para a gestão eficiente da água de irrigação pelos produtores, governos, e instituições de pesquisa e sociedade no geral.

No capítulo introdutório da tese, apresentaram-se as principais diretrizes que da pesquisa, e foram debruçados os aspetos sobre a contextualização com registos estatísticos que apontam para o compromisso global e regional face aos recursos hídricos na atividade agropecuária. E nesta perspectiva que foram descritas as situações problemáticas nas duas regiões em estudo e caracterizado a vivência dos produtores que lidam com a tecnologia de irrigação com potes de argila. Foram também descritos as motivações e os questionamentos que norteiam a pesquisa.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O referencial teórico que sustenta esta tese está baseado nas seguintes temáticas: riscos hídricos, eficiência do uso da água na irrigação, manejo e uso da água na agricultura, irrigação localizada com o aporte de potes de argila e tecnologias sociais que favorecem a aprendizagem coletiva. A literatura científica relevante disponível sobre as referidas áreas foram explicitadas ao longo da tese.

Por isso, também aplicou-se conceitos de gestão de conhecimento, para mapear o conhecimento gerado e seus atores. O estudo apontou os limites do conhecimento atualmente existente nos domínios de interesse, além de permitir também identificar as lacunas existentes e que podem ser resolvidas com este trabalho. É sobre isto que versa esta seção.

### **2.1 Eficiência da irrigação e do uso da água**

A agricultura irrigada para manter-se sustentável, em termos ambientais precisa ser eficiente no uso da água na irrigação bem como no uso dos agroquímicos que aplicados às plantas ou ao solo que pode causar contaminação dos recursos hídricos subterrâneos. O uso eficiente da água de irrigação pode ser alcançado atuando-se: a) na estrutura de irrigação então existente, em termos de tipos de cultivo, sistemas de irrigação e gestão do uso de água; b) nos métodos de manejo da irrigação; e c) nas técnicas que permitem aumento da eficiência do uso da água (Coelho et al., 2021).

A eficiência de irrigação, é tomada como a razão entre a quantidade de água efetivamente usada pela cultura e a quantidade retirada da fonte. No âmbito mundial, a eficiência é ainda muito baixa, situando-se, em termos médios, em torno de 37 %. A simples melhora de 1 % na eficiência do uso da água de irrigação, nos países em desenvolvimento de clima semi-árido ou árido, significaria uma economia de 200 mil litros de água, por agricultor, por hectare/ano. A irrigação utilizada de forma racional pode promover uma economia de aproximadamente 20 % da água e 30 % da energia consumida. Do valor relativo à energia, a economia de 20% seria devido à não aplicação excessiva da água e 10% devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados (Dian et al., 2019; Christofidis, 2013 e Lima et al., 1999).

Um dos motivos que mais contribui para a baixa eficiência da irrigação é o fato de que grande parte das áreas irrigadas compreendem projetos públicos ou público-privado, onde a maioria dos irrigantes não assimila os princípios básicos da agricultura irrigada, o que dificulta o próprio entendimento da eficiência de irrigação e suas vantagens. Isto se agrava,

principalmente quando o projeto não taxa a água usada pelo agricultores ou taxa a valores irrisórios. Na agricultura perde-se 2.500 km<sup>3</sup> de água por ano, valor muito superior ao que a indústria perde 117 km<sup>3</sup> e ao que o uso doméstico também perde (64,5 km<sup>3</sup>), (Oliveira et al., 2005).

Existem muitos projetos de irrigação que trabalham nos sistemas de fluxo contínuo e rotação, onde as quantidades de água fornecidas aos irrigantes não levam em conta as necessidades das culturas e por isso podem tanto exceder as necessidades, o que implica no fato de serem projetos de baixa eficiência. Apenas a conversão destes sistemas para sistemas que abastecem conforme a demanda (*on demand*), onde o produtor pode decidir a sua necessidade de água, já poderia ser um fator substancial de aumento da eficiência de irrigação. Muitos projetos utilizam o método de irrigação por superfície de forma rústica, isto é, sem aprimoramento técnico, ou utilizam irrigação pressurizada de baixa eficiência voltada para culturas de baixa rentabilidade. Novamente, a conversão destes sistemas de irrigação para sistemas de menor dispêndio de água, como é o caso da irrigação localizada associada a culturas de maior rentabilidade como produtos hortícolas e fruteiras, teriam elevado peso no aumento da eficiência de irrigação (Coelho et al., 2005).

O aumento da eficiência de aplicação ocorrerá à medida que o agricultor irrigante tomar consciência da necessidade de usar racionalmente a água, o que não ocorrerá por si. A outorga de água condicionada ao uso de sistemas de irrigação mais eficientes e taxação do insumo água, bem como a orientação e capacitação dos irrigantes pode contribuir muito para a percepção do agricultor (Christofidis, 2002).

## **2.2 Manejo da Irrigação**

O manejo da irrigação é uma prática importante na agricultura, levando em consideração a aplicação de água no momento e quantidade ideal conforme a necessidade hídrica da cultura. A necessidade de água das culturas varia conforme o estágio de desenvolvimento. O manejo da irrigação não pode ser de caráter fixo, mas sim de caráter flexível (Cruz, 2019). Sendo assim, se aplicar água em excesso, isso pode causar danos na planta, porque satura o solo, impedindo a aeração, induz a maior evaporação e salinização. Além disso, lixivia nutrientes e com esse excesso causa um microclima favorável ao desenvolvimento de doenças que podem causar prejuízo à cultura (Cunha, 2019).

Os objetivos fundamentais da ocupação de técnicas adaptadas para o manejo de irrigação incluem acrescentarem melhorias na qualidade do produto e na produtividade, ao

mesmo tempo, minimizar os gastos com energia elétrica e água, além de diminuir as condições favoráveis à ocorrência de doenças e pragas. Nessa definição, permite a aquisição de duas ou mais colheitas, na mesma área e no mesmo ano, além de introduzir culturas de maior valor agregado, proporcionando maior retorno econômico aos agricultores (Cunha, 2019).

A irrigação assume o papel fundamental ao minimizar o risco de perdas agrícolas e melhorar a produtividade da agricultura, porém o foco desta prática deve ser o seu manejo, garantindo que exista responsabilidade no uso dos recursos hídricos, tendo conhecimento do período da quantidade correta de irrigar e a forma, baseado na competência de armazenamento de água no solo e no consumo hídrico das plantas (Pinheiro, 2019). O solo pode reter água devido aos acontecimentos de capilaridade e infiltração, a capilaridade age na retenção da água. Quando os poros estão cheios os solos estão úmidos, já no caso da infiltração isso passa a prevalecer na retenção conforme os poros vão se esvaziando ficando secos. Isso torna a capacidade de retenção de água na região radicular de uma determinada cultura, depende necessariamente da estrutura e da textura do solo, da profundidade da raiz dessa cultura e da profundidade da camada de solo (Barbieri et al., 2017).

Segundo Sousa et al. (2019), o sistema de irrigação de pivô central tem sido bastante usado, especialmente em regiões em que as características de produção da região representam grandes áreas cultivadas principalmente por culturas anuais, declividade uniforme e levemente suave, feita através de uma torre. As torres se movem por meio de dispositivos eletrônicos, podem fazer aproveitamento do sistema para a aplicação também de fertilizantes e inseticidas.

No sistema de irrigação localizada por gotejamento, a irrigação é feita de forma responsável por aplicar a água diretamente entre o solo e a raiz da planta, agindo no desenvolvimento de determinada cultura, esse tipo de irrigação, colabora ainda para que ocorra redução no aparecimento de doenças nas partes aéreas das culturas, favorece a redução no consumo de insumos químicos, influenciando no aumento da produtividade da cultura (Andrade et al., 2017). Através do manejo da irrigação localizada, o modo mais adequado para utilizar a água pode ser feito com a utilização do índice de eficiência de uso da água para o projeto e a tomada de decisão da irrigação, proporcionando, maior produtividade às culturas (Cruz, 2019).

### 2.3 Panorama situacional dos recursos hídricos

A crise no acesso à água é um problema mundial, que não consiste apenas no volume disponível desse recurso, mas afeta também a qualidade, no que se refere a sua potabilidade e disponibilidade às populações. Nesta pesquisa, a descrição do panorama situacional da região norte do Brasil e no sul de Moçambique, indica que apesar de disporem de bacias hidrográficas com volume de água doce considerável, a problemática representa um grande desafio aos gestores públicos, que por sua vez, precisam de tomar iniciativas a fim de impedir que as limitações de distribuição deste recurso seja um empecilho ao desenvolvimento econômico nesses países.

#### a) Amazônia Oriental

Com a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, a região hidrográfica Amazônica tem como o seu principal curso d'água o rio Amazonas, que nasce no Peru com o nome de Vilcanota e recebe posteriormente os nomes de Ucaiali, Urubamba e Maraçon. Quando entra no Brasil, passa-se a chamar Solimões e, após o encontro com o Rio Negro, perto de Manaus, recebe o nome de Rio Amazonas. Sua largura média é de 5 km e possui muitos afluentes, além de diversos cursos de água menores e canais fluviais criados pelos processos de cheia e vazante. As maiores demandas pelo uso da água na região ocorrem nas sub-bacias dos rios Madeira, Tapajós e Negro, e correspondem ao uso para irrigação de 39% da demanda total.

A demanda urbana representa 17% da demanda da região (10,78 m<sup>3</sup>/s), de um modo geral, os consumos estimados são poucos significativos quando comparados com a disponibilidade hídrica por sub-bacias (Neto e Gonçalves, 2006).

No estado do Pará, a política de recursos hídricos (2012) estabelece que a região hidrográfica Amazônica é constituída pela bacia Amazônica e também pelas bacias hidrográficas dos rios existentes na ilha de Marajó, além das bacias hidrográficas dos rios situados no estado do Amapá que desaguam no Atlântico Norte.

No estado do Pará, ficam estabelecidas sete macro-regiões hidrográficas nomeadamente: Costa Atlântica-Nordeste, Tocantins-Araguaia, Xingu, Portel-Marajó, Tapajós, Baixo Amazonas e Calha Norte classificadas com de acordo com suas características geofisiográficas como: geomorfologia (e.g. geologia, hidrografia, solos e fator hidroclimático).

Foram considerados os municípios envolvidos respeitando os seguintes critérios: limites geográficos das regiões hidrográficas coincide com os divisores de água das bacias limítrofes da região considerada (SEMA, 2012).

A calha do rio Amazonas é a feição geomorfológica de maior importância, e as bacias componentes de cada região desaguam em suas margens ou diretamente na foz. As regiões apresentam homogeneidade nos aspectos geofisiográficos, em termos de ecossistemas componentes e socioeconômicos. Em termos geopolíticos, os municípios componentes de uma região hidrográfica apresentam históricos de ocupação e desenvolvimento econômico bem semelhantes.

As sub-regiões hidrográficas são consideradas como as Unidades Hidrográficas de Planejamento (UPLAN's), as quais são definidas a partir das bacias hidrográficas de maior área onde os afluentes menores são agrupados de jusante para montante, respeitando os limites dos divisores d'água (SEMA, 2012).

O foco nesta pesquisa concentra-se em duas bacias hidrográficas, ou seja, a bacia do rio Tapajós e da região Baixo Amazonas. A bacia hidrográfica do Tapajós ocupa uma área de 16,8% do estado do Pará, com uma área estipulada em 210.318,18 km<sup>2</sup>. Entre as principais redes de drenagens existem os rios Tapajós, Teles Pires, Jamaxim, São Benedito e rio Arapiuns.

A região do Baixo Amazonas ocupa uma área de 3,3% da área do estado, com uma área estipulada em 41.531,51 km<sup>2</sup> constitui-se pelas bacias dos rios Curuá-Una e Guajará e tem como drenagens principais os rios Curuá do Sul ou Tutuí, Mujuí, Uruará, Araú e Igarapé Peturú (SEMA, 2012). Estudos de Batalha et al. (2014) que analisam os indicadores hídricos nesta bacia hidrográfica mostram possíveis ameaças à manutenção de bens de e serviços que o rio Tapajós oferece às populações, posto que os corpos hídricos são sensíveis às alterações no uso e cobertura do solo e podem evidenciar possíveis alterações capazes de ameaçar o seu equilíbrio.

#### **a) Sul de Moçambique**

Moçambique é um país de jusante, partilhando nove das quinze bacias hidrográficas internacionais da região da Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral. Os rios são os maiores transportadores dos principais recursos hídricos do país, dos quais mais de 50% são originados nos países de montante. São perceptíveis as diferenças que se verificam entre regiões, no que se refere à variação da precipitação, período úmido e seco, de ano para ano com cheias e secas. De acordo com dados disponíveis, o escoamento superficial total é de cerca 216 km<sup>3</sup>/ano, dos quais cerca de 100 km<sup>3</sup> (46%) são gerados no país. Moçambique é vulnerável aos desastres causados pelas irregularidades climáticas, com uma forte incidência de fenômenos como secas, cheias e ciclones causando impacto negativo no desenvolvimento social e econômico (ENGRH, 2007).

Em Moçambique, a maior parte dos rios desagua no oceano Índico de leste a oeste, e segundo a Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (DNGRH) existem 104 bacias hidrográficas no país considerando a direção do caudal, dentre as quais uma bacia é adjacente ao Oceano Índico e é administrada juntamente como uma bacia hidrográfica. Os rios internacionais compartilhados em Moçambique cobrem cerca de 52% do território nacional, mas apenas 20% de todas as bacias são compartilhadas com vários países. Sendo assim, cerca de 50% do caudal superficial tem origem nos países vizinhos (ENGRH, 2007).

Por estar a jusante desses rios internacionais compartilhados, Moçambique têm a prioridade de administrá-los de forma contínua e celebrar acordos sobre a gestão integrada de recursos hídricos com países relevantes nas comunidades ribeirinhas individuais. A maior parte dos rios, exceto os pequenos adjacentes ao oceano Índico apresentam um caudal abundante durante 3 a 4 meses, mas com caudal reduzido durante o período remanescente.

Os desafios de Moçambique na gestão e no desenvolvimento dos recursos hídricos incluem o gerenciamento da água potável e as melhorias no saneamento, água para segurança alimentar e desenvolvimento rural, prevenção da poluição da água, e conservação dos ecossistemas, mitigação dos desastres e gestão dos riscos, gestão dos recursos hídricos transfronteiriços e partilhas dos benefícios (Banco Mundial, 2007).

#### **2.4 Marcos legais relacionados aos Recursos Hídricos no Brasil e em Moçambique**

Em termos de legislação, os marcos hídricos referênciais no Brasil e em Moçambique estão descritos no Quadro 1 onde se compilou dados de documentos produzidos pela Agência Nacional De Águas ANA (2017), Agência Nacional De Águas (2013), Estratégia Nacional de Recursos hídricos e Habitação (2007), Instituto Nacional de Estatística (2010) e Banco Mundial (2007). A política de água no Brasil considera a bacia hidrográfica como unidade de planejamento de uso em termos quantitativos e qualitativos. A provisão, monitoramento, benefícios e desafios devem ser partilhados pelos comitês de bacias hidrográficas.

No caso de Moçambique, a Lei de Águas, seus marcos regulatórios e políticas de uso, constituem instrumentos legais de gestão dos recursos hídricos, necessitando um arcabouço mais específico quanto as formas de intervenção. Em nível de planejamento estratégico, observa-se que em Moçambique existe maior abrangência nacional, em comparação com a legislação brasileira que parece estar mais orientada quanto a gestão específica de determinadas bacias hidrográficas.

**Quadro 1** Aspectos legais relacionados aos recursos hídricos no Brasil e em Moçambique

<b>BRASIL</b>	<b>MOÇAMBIQUE</b>
A Lei nº 9.433/1997, também conhecida com “Lei das Águas”, entrou em vigor em 1997 e instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criando também o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).	A lei em conformidade com a consagração constitucional estipula que a água de domínio público compreende todas as águas do interior (lagoas e albufeiras), as águas superficiais, os leitos dos rios e a água subterrânea.
Segundo a PNRH, a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. O instrumento legal prevê que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar os usos múltiplos das águas, de forma descentralizada e participativa, contando com a participação do Poder Público, usuários e comunidades.	A gestão de recursos hídricos envolve transversalmente vários sectores, a coordenação intersectorial é essencial na gestão integrada dos recursos naturais. Harmoniza-se com outras leis relacionadas, nomeadamente: a legislação agrária, ambiental, mineira, do mar, das pescas, da energia, relacionada com administração estatal.
A lei prevê que em situações de escassez o uso prioritário da água deve ser voltado para o abastecimento humano e para a dessedentação de animais. A unidade de atuação do SINGREH é de implementação dessa Política é a bacia hidrográfica. No ano 2000, a Lei 9.984 criada pela ANA, responsável pela implementação da PNRH. São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, através dos Planos de Recursos Hídricos que visa fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos. Compete à ANA arrecadar e repassar os valores coletados à Agência de Água da bacia ou à entidade delegatária de funções de Agência de Água, conforme determina a Lei nº 10.881/04.	O Ministério das Obras Públicas e Habitação através da Direção Nacional de Águas, em nível central é a principal instituição responsável pela gestão de recursos hídricos. Reconhece a gestão integrada dos recursos hídricos com a coordenação intersectorial, criando o Conselho Nacional de Águas, Órgão Consultivo. No âmbito da gestão operacional dos recursos hídricos, definem a desconcentração e descentralização criando as Administrações Regionais de águas estabelecidas em conformidade com as regiões de jurisdição de cada uma consoante as bacias hidrográficas a ela adstritas.
O enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes da água, e o estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d’água ao longo do tempo. O objetivo é assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição.	O objetivo da Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos é a implementação efetiva da Política de Águas, cuja meta compreende a satisfação das necessidades básicas de abastecimento de água para o consumo humano, melhoramento do saneamento, utilização eficiente da água para o desenvolvimento económico, água para conservação ambiental, redução da vulnerabilidade às cheias e às secas.

**Quadro 1** Aspectos legais relacionados aos recursos hídricos no Brasil e em Moçambique (Cont.)

<p>A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos tem o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. Também compete a ANA emitir a Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos (DAURH), que torna obrigatória aos usuários a declaração dos volumes de água captados mensalmente durante o ano.</p>	<p>Por forma a alcançar as metas de desenvolvimento, é importante que se melhore a implementação num portfólio de projetos prioritários e planos de gestão de recursos hídricos, que inclua a avaliação dos recursos hídricos; monitoramento dos recursos hídricos; planos de gestão de bacias hidrográficas; análise e gestão de risco de desastres; gestão de rios compartilhados e a consolidação das administrações regionais de águas.</p>
<p>Cobrança pelo uso de recursos hídricos tem como objetivos dar ao usuário uma indicação do real valor da água e incentivar ao uso racional desse recurso além da obtenção de recursos financeiros para recuperação das bacias hidrográficas no qual os recursos são gerados. Aos Comitês de Bacia Hidrográfica compete propor ao respectivo Conselho de Recursos Hídricos os mecanismos e valores de Cobrança a serem adotados na sua área de atuação.</p>	<p>O quadro legal promove a participação do sector privado e das partes interessadas.</p>

Fonte: Autoria própria (2023)

## 2.5 Indicadores de sustentabilidade

Os indicadores de sustentabilidade podem informar ou mostrar a direção ou tendência de uma meta. Os indicadores ambientais são particularmente importantes na gestão ambiental pois conseguem sintetizar informações relevantes da realidade, como consequência das ações humanas sobre o meio ambiente. Pode-se referir que os indicadores podem ser “instrumentos imperfeitos e não universalmente aplicáveis”, uma vez que precisam ser alimentados com informações e estas informações precisam refletir as particularidades dos sistemas, suas inter-relações e as interferências humanas nestes sistemas (Deggorone et al., 2018).

Um índice ou indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade, tendo como principal característica a de poder sintetizar um conjunto complexo de informações retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados (NETO et al., 2008). Assim, os indicadores de sustentabilidade têm uma função essencial na formação do panorama de agroecossistemas, indicando assim, uma direção ou uma tendência de seu desenvolvimento. Tendo em vista a dinâmica desses sistemas produtivos e de suas inter-relações, é essencial para a gestão ambiental e tomadores de decisão a sistematização e a simplificação de informações relevantes (Deggorone et al., 2018).

Segundo Brito e Bos (1997), os indicadores tendem a avaliar o desempenho dos perímetros de maneira detalhada, mas no entanto o nível de detalhe dentro do processo de desempenho depende do propósito da avaliação, tendo em vista que o custo da coleta e o manuseio de todos os dados relacionados, não são utilizados no manejo do projeto diariamente, havendo, a necessidade de se definir um conjunto de indicadores. O desempenho de um sistema engloba as atividades de aquisição dos insumos e a transformação dos mesmos em produtos finais e intermediários, e os efeitos destas atividades no próprio sistema e no ambiente externo.

Leite et al. (2009) descrevem ainda que os indicadores buscam organizar a informação de forma a deixar clara a relação entre os recursos alocados a um projeto e os impactos, resultados ou rendimentos obtidos, de forma a permitir a identificação de problemas que possam impedir o alcance dos objetivos propostos. Os indicadores podem ser qualitativos ou quantitativos, os qualitativos são considerados mais adequados às avaliações relacionadas ao desenvolvimento sustentável devido às limitações impostas pelos elementos a serem avaliados. Embora tenham objetivo de quantificar uma informação, estes não devem ser considerados apenas como dados estatísticos, uma vez que seus processos alcançam diferentes níveis de dados ou medidas (Bellen, 2006, Guimarães e Feichas, 2009).

Uma informação qualitativa ou não mensurável ao ser sintetizada por um indicador ambiental, deve manter seu status de importância além de comunicar um evento (Christofidis, 2013). Um indicador deve conter um valor real e um planejado que permita uma avaliação entre eles, podendo ser observado sua divergência e relacioná-lo ao que é aceitável ou não, podendo expressar os indicadores na forma de uma razão entre a situação medida realmente versus a situação pretendida ou planejada (Silva et al., 2016).

A tendência de desenvolvimento sustentável implica no aproveitamento racional dos recursos naturais com base na capacidade de suporte do ambiente. Porém, agregados aos problemas ambientais existentes aos desafios socioeconômicos, geralmente caracterizados na operacionalização das atividades dos produtores agrícolas (Silva et al., 2016). Contudo, Bellen (2006) ressalta que existem limitações metodológicas nos indicadores destacando que a precariedade de dados disponíveis é uma das principais, bem como as formas de análise e a impossibilidade de comparação entre as dimensões mensuradas.

Marzall e Almeida (2000) sugerem que um dos pontos críticos para se avaliar a sustentabilidade é a escolha da metodologia, que deve ser clara e objetiva, além de ter uma perspectiva sistêmica para permitir o entendimento de realidades complexas. A abordagem sistêmica, no entendimento de Souza (2016), adapta-se melhor às avaliações do meio rural devido à complexidade de seus sistemas. Além disso, ressalta-se também a importância da pesquisa participativa, uma vez que permite maior interação entre os atores envolvidos, a conjunção dos conhecimentos locais e empíricos com a ciência. O mesmo autor destaca também que as propostas de trabalho participativo têm objetivo de tornar mais eficiente as respostas dos problemas propostos. A esse respeito, a gestão ambiental busca formas de manter os recursos naturais, porém, sem prejuízo às demais dimensões econômicas e sociais de que depende a manutenção do sistema (Teixeira, 2016).

### **2.5.1 Indicadores de sustentabilidade pelo uso e reúso da água na agricultura**

Ao avaliar a sustentabilidade na irrigação, como parte integrante das explorações dos recursos naturais, passa-se por um embasamento teórico e reflexivo e acima de tudo de conscientização e treinamento de todos os que trabalham na agricultura (Bennett *et al.*, 2003). Um dos maiores desafios enfrentados pela discussão sobre o desenvolvimento sustentável é a elaboração de metodologias aplicadas que permitam avaliar a sustentabilidade de diferentes projetos, tecnologias ou em situações concretas (Marzall e Almeida, 2000).

De acordo com Neto *et al.* (2008) a sustentabilidade tem sido desenvolvida para refletir resumidamente as alterações sofridas pelo meio ambiente em decorrência da agricultura irrigada. No Quadro 2 apresenta-se a revisão sistemática de literatura que por via obteve se o embasamento científico sobre os indicadores de sustentabilidade nos recursos hídricos.

**Quadro 2** Recursos hídricos e seus indicadores de sustentabilidade

Autor (s)	Ano	Resultados
Hespanhol	2002	<p>Nas regiões áridas e semiáridas, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para satisfazer demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Em 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (United Nations, 1958), estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, que suporta este conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”. As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente as de origem doméstica, águas de drenagem, agrícola e águas salobras, devem sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta de água.</p>
Braga et al.	2005	<p>Através do ciclo hidrológico a água se constitui como um recurso renovável, quando reciclada através de sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é, através da atividade antrópica, deteriorada a níveis diferentes de poluição. Entretanto, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reuso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como <i>decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais</i>.</p>
Neto et al.	2008	<p>O perímetro Ayres de Souza retrata um histórico de abandono das infra-estruturas de irrigação existentes e a adoção, hoje, de um manejo ultrapassado com grandes desperdícios de água. O estudo se propõe ao desenvolvimento de um índice de sustentabilidade agroecológica onde se possa traçar o perfil dos irrigantes, pela realização de uma análise integrada do atual uso dos recursos naturais do perímetro irrigado de Ayres de Souza</p>

**Quadro 2** Recursos hídricos e seus indicadores de sustentabilidade (Cont.)

Autor (s)	Ano	Resultados
De Carvalho et al.	2010	O índice de sustentabilidade mostrou-se adequado adaptando-se bem aos indicadores sugeridos, apresentando um comportamento esperado. O índice desenvolvido demonstrou claramente a diferença entre unidades produtivas, no que concerne a sustentabilidade do modelo de exploração adotado pelos produtores. Os fatores dominantes do índice de sustentabilidade foram: nível da atividade agrícola praticada, agricultura familiar, condições atuais do sistema água-solo e infraestrutura, fontes alternativas de renda e experiência em tratamentos culturais.
De Silva et al.	2013	A partir dos estudos foi possível investigar as variáveis/indicadores: gênero, escolaridade, renda média mensal para caracterizar a população-alvo do estudo; e 27 indicadores distribuídos em 5 dimensões, que sejam: indicadores da dimensão econômica (4 indicadores), indicadores da dimensão técnico agrônomo (3 indicadores), indicadores da dimensão manejo (9 indicadores), indicadores da dimensão ecológica (4 indicadores) e indicadores da dimensão político-institucional (7 indicadores). Os modelos foram utilizados devido ao fato de já terem sido adotados e validados para o contexto da agricultura familiar. A ideia central não consistiu em avaliar a sustentabilidade da agricultura familiar local, como se propuseram aos estudos citados, mas sim identificar variáveis representativas que supostamente estariam sendo utilizadas pelos agricultores do contexto geográfico específico.
De Carvalho et al.	2013	As dimensões e indicadores utilizados pelos agricultores no contexto geográfico estudado revelam indícios particulares referentes à utilização de indicadores de sustentabilidade dos recursos hídricos no âmbito da agricultura familiar, podendo ser discutidos pelos gestores e atores sociais envolvidos do setor no intuito de monitorar melhor as atividades. Constatou-se que a agricultura familiar vem sendo desenvolvida, grande parte da renda da população é oriunda das transferências intragovernamentais, demonstrando a fragilidade local em termos de desenvolvimento de projetos econômicos e sustentáveis, muito embora o caso particular investigado demonstre uma iniciativa importante e relevante para a comunidade local, já que a agricultura familiar tem subsidiado o complemento da renda das famílias envolvidas.

Fonte: Autoria própria (2023)

## 2.6 Segurança hídrica e dimensões de uso sustentável

Grey e Sadoff (2007) definem segurança hídrica como um nível aceitável de riscos relacionados à água para os seres humanos e os ecossistemas conjugados com a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade suficientes para garantir padrões de vida, segurança nacional, saúde e serviços ecossistêmicos.

A segurança hídrica apresenta três principais dimensões nomeadamente, a dimensão econômica, a dimensão social e a dimensão ambiental, descritas a seguir:

- Dimensão econômica: aumentar a produtividade e economia de água em todos os setores usuários de água; compartilhamento dos benefícios econômicos, sociais e ambientais no gerenciamento de rios transfronteiriços, lagos e aquíferos.
- Dimensão social: garantir o acesso equitativo aos serviços e recursos hídricos por meio de políticas e arcabouço legal robustos em todos os níveis de governo; estimulando a resiliência de comunidades face a eventos hídricos extremos por meio de medidas variadas.
- Dimensão ambiental: gerenciar a sustentabilidade hídrica como elemento de uma economia “verde”; restaurar serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas para aprimorar a saúde dos rios (Witter e Whiteford, 1999).

Para Bakker (2012) não é surpreendente que existam múltiplas definições para segurança hídrica ao se considerar que as perspectivas sobre o tema variam entre as diversas especialidades acadêmicas. Para a autora, o processo de especialização tem suas vantagens, entretanto a efetividade do gerenciamento de recursos hídricos e da formulação de políticas requerem uma base conceitual comum como pré-requisito para uma análise interdisciplinar das complexas interações entre seres humanos, ecossistemas e o ciclo hidrológico.

Entretanto, Niasse (2017) enuncia a percepção de longa data de que recursos naturais, especialmente água e terras cultiváveis, seriam recursos abundantes e que, com uso de técnicas apropriadas, podem ser gerenciadas para atender necessidades ilimitadas da humanidade. As consequências de décadas de uso não sustentável dos recursos hídricos e de degradação de grandes extensões de terras agrícolas começam a se manifestar, podendo contribuir para uma crise alimentar, para aumentar a escassez hídrica e ainda acelerar o rápido decréscimo na extensão de terras agricultáveis.

## 2.7 Limitações de acesso a água e classificação da escassez hídrica

A escassez hídrica é considerada como a redução da disponibilidade de água, focalizando nos fatores potenciais e existenciais ao abastecimento para atender as demandas presentes e futuras, capazes de suprir as necessidades das populações (Falkenmark *et al.*, 1989). Segundo Alcamo *et al.* (2000), a disponibilidade hídrica por habitante é frequentemente utilizada como indicador da fartura relativa de recursos hídricos, analisadas em conformidade com a seguinte escala: < 500 m<sup>3</sup>/hab/ano – Situação de escassez; 500 a 1.700 m<sup>3</sup>/hab/ano – Situação de estresse; > 1.700 m<sup>3</sup>/hab/ano – Situação confortável.

Outros fatores de “oferta” categorizados no ranking de países, conforme a quantidade per capita dos Recursos Hídricos Anuais (AWR) e, estabeleceram indicadores quantitativos de escassez, sendo apontado 1.700 metros cúbicos per capita por ano (m<sup>3</sup> homem<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) como o nível de suprimento de água em que a escassez hídrica local é rara (entre 1.000 a 500 m<sup>3</sup> homem<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). O abastecimento de água começa a dificultar o bem-estar, a saúde, o desenvolvimento econômico e humano. Abaixo de 500 m<sup>3</sup> homem<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ocorre restrição hídrica à vida. Esses valores são amplamente utilizados e servem como valores numéricos “limites” nas análises de escassez de água entre os países (Engelman, 1993).

Outra abordagem da Comissão das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável aponta limitações na oferta de água, sendo que a escassez quantitativa, representam retiradas totais anuais de água (AWR) com reduções superiores a 40%. Este percentual da AWR indicam que o país apresenta condição de escassez em relação à disponibilidade de água (Raskin *et al.*, 2003).

Quando se classificam os níveis de escassez, pode-se considerar três principais condições de escassez: a qualitativa, a quantitativa e ainda a escassez associada a dinâmica hídrica. Do ponto de vista de quantidade de água, verifica-se que muitos países e regiões estão em condição denominada “escassez hídrica quantitativa”, pois a disponibilidade de água é menor que 4.650 litros por pessoa por dia. Caso a disponibilidade quantitativa de água esteja abaixo de 2.740 litros por pessoa por dia, ocorre a “escassez hídrica crônica”, situação na qual não existe folga para uso de água para finalidades que são hidrintensivas, como produção agrícola, produção pecuária e uso industrial, a não ser que haja gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos (Seckler *et al.*, 1998).

A dificuldade em alcançar atendimento de água em quantidade suficiente para as atividades intensivas no uso de água, em uma região que está próxima à situação de “alerta de escassez hídrica”, com disponibilidades de água abaixo de 4.650 litros por habitante por dia, é

decorrente da necessidade de água mínima requerida para atender aos três principais usos consuntivos: o abastecimento humano, o uso industrial e a produção de alimentos. Esse uso da água que correspondem em muitos países, a mais de 2000 litros de água por habitante/dia.

Além da necessidade de oferecer água em quantidade, é necessário observar e atender a outras variáveis, tais como: água com qualidade, e água em oportunidade, que significa o respeito aos ecossistemas, e integração e harmonia com as necessidades de água para finalidades consideradas usos não consuntivos: que são a navegação, a hidroeletricidade, a piscicultura, e o lazer, para assimilação e diluição de resíduos, entre outros (Christofidis, 2013).

Do ponto de vista de qualidade observa-se que em certas regiões ocorre a denominada “escassez hídrica qualitativa” em que a disponibilidade de água é afetada pela poluição química, microbiológica e térmica, passando a apresentar qualidade inadequada ao padrão requerido pela finalidade que se apresenta. Em tal situação, a fonte de água está deteriorando podendo causar doenças, e não sendo adequado para diversas utilizações, especialmente vinculadas à manutenção da vida (Christofidis, 2002)

As principais debilidades qualitativas de água têm origem nos lançamentos de resíduos de esgotos sanitários pelas populações em áreas urbanas, e nos resíduos líquidos das indústrias e agroindústrias, quando os graus de tratamento e as disposições de águas servidas não ocorrem em consonância com a capacidade de depuração dos corpos recetores. As degradações dos corpos d’água são agravadas: (i) pelas contaminações por resíduos de metais pesados carreados das vias públicas pelos sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais; (ii) pelos lançamentos oriundos de explorações agrícolas (sequeiro e irrigação) e pela pecuária, cujos resíduos líquidos fluem pelos drenos naturais ou percolam para os aquíferos profundos; e (iii) pelo lançamento de resíduos sólidos, plásticos e de fármacos que resultam em interferentes endócrinos com impactos nos seres humanos e animais, afetando a reprodução das espécies. Os diversos contaminantes, em sinergia, podem causar impactos ampliados ou diferentes daqueles com efeitos cumulativos decorrentes dos poluentes considerados em separado (Bunn e Arthington, 2002).

Do ponto de vista de oportunidade de água, observa-se que em certas regiões ocorre a denominada “escassez associada à dinâmica hídrica” que repercute nos fluxos e oscilações de níveis e vazões dos corpos hídricos. Em diversas regiões a construção de infraestruturas hídricas que tem alterado os regimes hidrológicos, modificando as suas características qualitativas e quantitativas (Bunn e Arthington, 2002). Quando não considera as demandas hídricas das espécies, afeta a variação do regime hídrico, suas magnitudes, a duração, a frequência e o período de ocorrência de eventos (estiagens, cheias e inundações), além da taxa

de variação de eventos associados às águas, e desrespeitando a adaptação, e a coevolução e a utilização dos eventos hidrológicos em diversos estágios de vida (Leite et al., 2009).

## **2.8 Agricultura Irrigada no Oeste do Pará e no Sul de Moçambique**

Segundo dados da Forest (2010), o Brasil estave entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo, totalizando entre 4 e 7 milhões de hectares irrigados. Entretanto, segundo a ANA (2017) a irrigação ainda é considerada limitada frente ao potencial estimado, à área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. Esse panorama é o oposto ao verificado nos demais países líderes em irrigação que apresentam aproveitamento total próximo ao seu potencial estimado aos cultivos irrigados. Segundo dados de Guimarães et al. (2019) apontaram um crescimento de 43,3% (+382 mil ha) da área de pivôs centrais no Brasil entre 2006 a 2014.

Na região norte do país nota-se cada vez mais a importância de aplicação de tecnologias na agricultura, e com a modernização das atividades agrícolas, cresce a busca por ferramentas que promovam o aumento da produtividade, sendo a irrigação uma dessas ferramentas. Esta região possui uma área de aproximadamente 14,6 milhões de hectares com potencial para o desenvolvimento da irrigação sustentável (Christofidis, 2008). Sendo que, as atividades produtivas do agronegócio em constante crescimento pressionam permanentemente a demanda de água, dado a necessidade de fornecimento de alimentos. Contudo, na economia brasileira, a água é tratada como um recurso escasso (Montoya e Finamore, 2020).

Embora o país possua as maiores reservas de água doce (12%) do planeta, para entender a escassez de água, é preciso considerar que essas reservas estão desigualmente distribuídas geográfica e demograficamente. Enquanto a região Norte apresenta a maior concentração de água em virtude da localização da Bacia do Rio Amazonas e o Aquífero Alter do Chão, a grande parte da população brasileira concentra-se nas regiões Sudeste e Nordeste que, historicamente, sofrem de secas e escassez de água (Pena, 2018).

O consumo de água irregular, o desmatamento das matas ciliares, visando à construção de estruturas para captação de água são os principais fatores que provocam a degradação dos cursos d'água (Borges, 2019). Nesse contexto, as atividades agropecuárias frequentemente são associadas à falta de água, seja pelo desperdício em função de uma inadequada gestão dos recursos hídricos, pela agressão ao meio ambiente, seja por simplesmente existir falta de clareza sobre o volume de água utilizado e o volume de água consumido no sistema econômico (Montoya e Finamore, 2020).

Pinheiro et al. (2010) acrescentaram ainda que a agricultura irrigada é uma atividade importante porque pode gerar efeitos socioeconômicos substanciais, desde que esteja em harmonia com o meio ambiente. A irrigação pode contribuir de forma decisiva para a expansão e modernização da agricultura paraense. Entretanto, é importante que exista uma conscientização para que o crescimento da agricultura irrigada ocorra de forma responsável.

O cenário atual da agricultura irrigada no Oeste do Estado do Pará ainda é pouco conhecido e difundido. Poucas são as fontes de dados sobre o panorama da irrigação no Pará. Além do Censos Agropecuários de 1996, 2006 e 2017 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE 1998, 2009, 2017). Para que o crescimento da irrigação no Pará seja ordenado e sustentável é importante que os atores do processo planejem os investimentos e a utilização dos recursos hídricos. Para isto, é necessário que os dados estatísticos sobre a agricultura irrigada dos últimos Censos Agropecuários do IBGE (1998, 2009) sejam utilizados como ferramenta de diagnóstico das necessidades de políticas de investimento e de conscientização sobre a importância da utilização eficiente dos recursos hídricos (SOUZA et al., 2012).

No entanto, para o contexto de Moçambique, o país é fundamentalmente agrícola, onde mais de 70% da população depende da agricultura, sendo esta praticada em zonas rurais e peri-urbanas. Atualmente, a agricultura contribui com 24% do produto interno bruto, sendo que maioritariamente é praticada em pequenas explorações que utilizam práticas rudimentares de produção, com um fraco uso de insumos e defensivos agrícola, e em condições de sequeiro, ou irrigadas. O acesso à mecanização e ao financiamento agrário ainda é restrito aos médios e grandes produtores (Ministério da Agricultura e Segurança Alimentar MASA, 2015).

O país possui cerca de 36 milhões de hectares de terras aráveis, dos quais cerca de 15% estão em uso (Carrilho et al. 2016). A agricultura desempenha um papel muito importante no que se refere à segurança alimentar e nutricional não só como fonte (e diversificação) de alimentos, mas também como fonte de emprego que proporciona a geração de renda às populações rurais, de acordo com os dados do Secretariado Técnico de Segurança Alimentar e Nutricional (SETSAN, 2014).

A agroclimatologia moçambicana é fortemente demarcada em três zonas principais, nomeadamente Norte, Centro e Sul. A Zona Norte é a mais úmida e apresenta disponibilidade de água de cerca de 80% para satisfazer as necessidades das culturas em todo o ciclo vegetativo, no período bem definido, que é o da época das chuvas. A Zona Centro apresenta a probabilidade de satisfazer as necessidades hídricas das culturas em 60% e isto significa que o risco de ocorrência de secas seja mais frequente.

A Zona Sul que engloba as províncias de Maputo (área em que se desenvolveu a pesquisa), Gaza e Inhambane é a zona mais afetada com problemas estiagem. Existe uma relação estreita entre as vastas zonas ecológicas e a precipitação. Sendo que as regiões que recebem acima de 2.000 mm/ano são caracterizadas por florestas densas, havendo decréscimo da precipitação na gradação entre a savana húmida e a savana árida (ENGRH, 2007)

Segundo o MASA (2015) província de Maputo tem sofrido perdas nas explorações agrícolas maioritariamente devido à estiagem com um percentual de 26.5% de perdas de produção agrícola, diferente das províncias da zona centro e norte que o maior percentual de perdas agrícolas é devido às cheias e inundações, o que torna evidente a necessidade de diferenciados mecanismos de gestão hídrica ao longo das regiões norte, centro e sul do país.

## **2.9 Ferramenta de suporte à gestão de riscos associados aos recursos hídricos**

O *Aqueduct Water Risk* (AWR) é uma base com dados globais, disponíveis ao público, sendo uma ferramenta interativa que mapeia indicadores de risco relacionados à água para tomadores de decisão em diversos sectores de atividade em todo o mundo. O AWR usa uma combinação de modelos e estatísticas, para traduzir dados hidrológicos em indicadores diretos e geram pontuações agregadas á classificação do risco que podem informar a uma ampla variedade de usuários governamentais e da sociedade civil, sobre o panorama situacional dos recursos hídricos no geral (Gassert et al., 2014).

O AWR é desenvolvido em parceria com empresas, governos e instituições de pesquisa visando aprimorar as melhores práticas em gerenciamento de recursos hídricos e permitir o crescimento sustentável na condição de restrição hídrica. O AWR representa uma visão mais robusta dos riscos da água, incluindo dados mais granulares, de alta resolução, novos indicadores, função aprimorada da ferramenta e acesso aos modelos hidrológicos (Hofste et al., 2019).

Assim, pode-se classificar os recursos hídricos nas regiões analisadas em termos de quantitativo, qualitativo, e regulatorios e ainda fazer previsões com simulações climáticas. Cada um dos indicadores de risco analisados possui um peso distinto, e este peso varia com o tipo de atividade industrial. Na ferramenta estão disponíveis diversos setores, nomeadamente: a agricultura, a industria alimentar e de bebidas, o sector químico, a indústria de energia elétrica, os semicondutores, o sector de óleo e gás, a mineração, os materiais e a insustria têxtil. A ferramenta *Water Resources Institute* (WRI) disponibiliza ainda ao usuário mais 34 diferentes setores e mais de 120 tipos diferentes de culturas agrícolas diferentes (WRI, 2013).

A ferramenta identifica rapidamente o local de interesse e fornece os resultados imediatos mapeando os riscos hídricos. O risco hídrico global da unidade fornece uma medida do risco hídrico como um todo, agregando todas as categorias de risco e seus respectivos indicadores. A ferramenta também apresenta o resultado detalhado para cada categoria de risco e para cada indicador. É importante se fazer a distinção entre risco e perigo nos recursos hídricos, porque a falta de clareza sobre essas diferenças conceituais pode dificultar o planejamento do consumo. E evidentemente, existe a necessidade em melhorar a vigilância da qualidade de água para diferentes usos associados aos perigos, que ainda constitui um desafio na oferta hídrica. Por isso, Carmo et al. (2008) considera que esta diferenciação permite monitorar cada etapa do processo de abastecimento de água onde podem ser identificadas situações caracterizadas como perigo que podem expor a população a situações de risco.

Neste estudo, quando se refere ao risco trata-se da probabilidade de ocorrência de um evento. A ideia de risco indica a existência de uma associação entre uma exposição e um determinado efeito que, em saúde, poderia ser entendido como óbito, incapacidade, doença ou desordem. Já perigo refere-se a uma característica intrínseca de uma substância ou situação. A água para consumo humano que contenha agentes patogênicos caracteriza-se como um perigo, enquanto seu fornecimento à população traz um risco, que pode ser quantificado e expresso em termos de probabilidade de ocorrência de um agravo (Bevilacqua et al., 2002).

No Quadro 3 são descritos os doze indicadores globais identificados pelo *International Water Resources (IWR)*, os quais foram usados para a análise de risco nesta tese.

**Quadro 3** Descrição dos indicadores de risco nas bacias hidrográficas

Tipo de risco	Indicador	Descrição	
Risco Hídrico	Geral	Identifica áreas com maior exposição a riscos relacionados à água e é uma medida agregada de todos os indicadores selecionados das categorias quantidade física, qualidade e risco regulatório e de reputação	
Riscos Físicos	Quantitativos	Os relacionados à quantidade identificam áreas de preocupação com relação à quantidade de água que podem afetar a disponibilidade de água a curto ou longo prazo.	
		Stress hídrico	Mede a razão entre o total de retiradas anuais de água e o total de oferta renovável anual disponível, respondendo pelo uso consumido a montante, valores mais altos indicam maior competição entre usuários
		Variabilidade inter anual.	Mede a variação anual da água
		Variabilidade sazonal	Mede a variação no abastecimento de água entre os meses do ano
		Stress da água subterrânea	Mede a relação relativa entre a retirada de água subterrânea e a taxa de recarga. Valores acima de um indicam onde o consumo insustentável de água subterrânea pode afetar a disponibilidade de água subterrânea e os ecossistemas dependentes de água subterrânea
		Severidade da seca	Humidade do solo abaixo do 20º percentil, a duração é medida em meses.
		Armazenamento a Jusante	Mede a capacidade de armazenamento de água disponível a montante de uma localização em relação ao fornecimento total de água nesse local, valores mais altos indicam áreas mais capazes de compensar as variações no abastecimento de água (isto é, secas e inundações).
		Ocorrência de enchentes	Mede o número de enchentes registradas em cada bacia entre 1985 e 2011.
	Riscos Qualitativos	Os riscos físicos relacionados à qualidade identificam áreas de preocupação com relação à qualidade da água que podem afetar a disponibilidade de água a curto ou longo prazo.	
		Áreas protegidas	Medem a montante a percentagem do abastecimento total de água que provém de ecossistemas protegidos. Valores mais baixos indicam áreas localizadas a jusante de bacias menos protegidas. A qualidade da água poderia, portanto, ser comprometida nessa área.
		Taxa de retorno	Mede a percentagem de água disponível que foi usada e descarregada anteriormente como águas residuais. Valores mais altos indicam maior dependência de plantas de tratamento e potencialmente má qualidade da água em áreas que não possuem infraestrutura de tratamento suficiente
	Riscos regulatórios e reputacionais	Identificam áreas de preocupação com relação à incerteza na mudança regulatória, bem como conflitos com o público em relação a questões hídricas.	
		Presença da mídia	A cobertura da mídia (MC) mede o número de notícias artigos sobre questões de água em um país em relação ao total número de artigos sobre o país.
		População sem acesso à água potável	O acesso à água (WC) mede a proporção da população sem acesso a fontes de água potável melhoradas por país e estima a cobertura de água potável a infraestrutura.
Anfíbios de água doce ameaçados		Anfíbios ameaçados (AMPH) mede a porcentagem de espécies de anfíbios classificadas pela International União para a Conservação da Natureza (IUCN), ameaçada em cada captação	

Fonte: Autoria própria (2023)

## 2.10 Balanço Hídrico na indicação dos estoques de água no solo

As condições climáticas e hidrológicas de determinada região são os principais parâmetros na estimativa das disponibilidades hídricas desse território. Nos estudos hidroclimatológicos, as premissas básicas nortearão o desenvolvimento dos trabalhos na definição do modelo de planejamento e gestão dos recursos hídricos a ser implementado. Desta maneira, a compatibilização entre a disponibilidade e a demanda hídrica somente poderá ser feita quando devidamente ponderados os parâmetros climáticos, especialmente precipitação, evaporação e evapotranspiração, e os parâmetros hidrológicos, como a movimentação e a quantificação das águas superficiais e subterrâneas no tempo e no espaço (Medeiros et al., 2013).

Em hidrologia, as séries históricas de precipitação são informações fundamentais para o entendimento do regime hidrológico. Mesmo em abundância, a distribuição espacial e temporal da água sobre a terra é bastante irregular, causando problemas de excesso em alguns lugares e escassez em outros (Galvêncio et al., 2006).

De acordo com Blain (2009), o monitoramento climático é uma ferramenta importante para o sucesso do planejamento agrícola e para ter alta produtividade, pois determina a melhor época e as áreas mais promissoras para o plantio. Neste sentido, o estudo e o monitoramento do período os de maior ou menor ocorrência de precipitação, das temperaturas ótimas para as culturas, da disponibilidade de radiação e do balanço hídrico, são fundamentais para haver retorno produtivo.

A metodologia de estimativa do balanço hídrico foi proposta por Thornthwaite e Mather (1955), na qual permite conhecer e controlar o armazenamento de água no solo levando em consideração a textura do solo, e a profundidade das raízes, e que contabiliza ainda o fluxo (entradas e saídas) de água. A problemática do balanço hídrico de cultivos agrícolas é a grande variabilidade das variáveis envolvidas, vários tipos de solos com diferentes formações de camadas e de cobertura vegetal do solo, que varia conforme a fase desenvolvimento das culturas (Pinheiro, 2010).

Os modelos de balanço hídrico tem sido ferramentas essenciais, que dão fundamentos para a determinação das necessidades de irrigação e para a condução da mesma (Palaretti et al., 2011). O método utilizado para o cálculo do balanço hídrico do solo, com base em dados meteorológicos, é o Penman Monteith (Allen et al., 1998), o qual combina a evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) com um coeficiente de cultura ( $Kc$ ) para estimar a Evapotranspiração da cultura ( $ETc$ ). Atualmente, foi introduzido o método do  $Kc$  dual ( $Kcb +$

Ke), que fornece uma melhor estimativa da ET<sub>c</sub> diária, porque considera separadamente a evaporação de água do solo e a transpiração da planta (Villa et al., 2022).

O Balanço Hídrico Climático (BHC) de forma simplificada é a contabilização de água no solo, ou seja, a computação das entradas e saídas de água no sistema (Silva; Bracht, 2010). O balanço hídrico do solo com cultivo é tido como a contabilização dos fluxos de entradas e saídas da água, sendo medido em volume e por unidade de tempo (Libardi, 2005).

### **2.11 Fatores a considerar no planejamento do sistema de irrigação**

O planejamento de um projeto de irrigação agrícola passa por diferentes fases conforme as seguintes etapas e respectivas características das tecnologias a serem adotadas. Neste contexto, os sistemas de irrigação devem ser definidos de forma clara e objetiva para mensurar, dimensionar e avaliar a capacidade de adoção da tecnologia em questão. Nessas etapas devem ser avaliados possíveis efeitos (positivo ou negativos) durante a fase de planejamento.

O planejamento bem realizado de um sistema de irrigação exige o levantamento das condições da propriedade ou da área a ser irrigada, a falta de informações ou a caracterização incorreta de determinadas variáveis de análise de dimensionamento pode levar ao insucesso dos cultivos irrigados com sérios prejuízos ao produtor e ao ambiente. A escolha dos sistemas requer conhecimento aprofundado das características de cada método de irrigação em função de diferentes condições de solo, água, clima, cultura, impactos, operação e manejo (Daka 2001, Palaretti *et al.*, 2011; Testezlaf, 2011).

A metodologia usando sistemas propostos por Keller (1990) apresenta aplicação mais geral, seguindo pressupostos apresentados no Quadro 4.

**Quadro 4** Etapas, fases, identificação dos objetivos e dos impactos dos projetos de irrigação e suas características

Etapas/ fases	Características
Identificação dos objetivos e do impacto do projeto	<p>Na agricultura, os principais objetivos a serem atingidos com a implantação de sistemas de irrigação são de ordem econômica, ou seja, viabilizar a atividade com menos gastos e maior lucro ao proprietário para garantir a produção com aumentos em lucratividades. Na análise de viabilidade econômica de projetos de irrigação são utilizadas variáveis econômicas tradicionais, como: relação benefício-custo ou taxa de retorno de investimento e outros. Além dos custos fixos relacionados ao investimento inicial dos quais está incluída a depreciação de toda a instalação mais juros sobre o investimento, existem também os custos variáveis, constituído do custo operacional do sistema (energia elétrica ou combustível), custo de mão-de-obra (operação, reparos e manutenção do sistema) e, atualmente apareceu o custo da água, cujo pagamento já está legalizado em várias bacias hidrográficas no Brasil. Entre os principais benefícios da irrigação destaca-se a garantia e aumento da receita (aumento da produtividade, aumento da qualidade do produto, aumento do número de safras agrícolas e diversificação do processo produtivo).</p> <p>Dentro dos impactos negativos, podem-se citar os ambientais como a primeira preocupação, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprometimento no regime hídrico (água superficial e subterrânea) pelo uso excessivo desses recursos disponíveis em mananciais com baixo volume de água;</li> <li>- Intensificação de processos erosivos na área, principalmente em áreas declivosas e solos com baixa capacidade de infiltração da água aplicada em cada turno de rega.</li> <li>- Potencial de contaminação do solo e da água, pelo uso de tratamentos químicos como adubação, controle de pragas e doenças;</li> <li>- Construções E transformações na área irrigada como sistematização do solo (nivelamento), instalação das partes do sistema de irrigação (bombas, canais, tubulações), perfuração de poços, cercas, acumulação de águas superficiais, entre outros;</li> <li>- Possibilidade de interferências de condições naturais que comprometam a flora e fauna local.</li> </ul> <p>Entretanto, outras mudanças podem ocorrer e que devem ser tratadas como impactos positivos da irrigação, dentre as quais é possível citar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impactos sociais, com a criação ou aumento da oferta de empregos diretos e indiretos;</li> <li>- Produção local ou regional de alimentos com aumento na disponibilidade e redução nos custos ao consumidor final;</li> <li>- Aumento na adoção de equipamentos e insumos agrícolas produzidos na região;</li> <li>- Criação de outras atividades econômicas ao produtor, como oportunidades de lazer (pesca, canoagem), agroturismo.</li> <li>- Pela importância que o tema de impactos do uso da tecnologia de irrigação representa para o desenvolvimento da agricultura.</li> </ul>
Levantamento e caracterização da propriedade ou área a ser irrigada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografia: planta planialtimétrica recente da propriedade com curvas de nível, declividade média, dimensões da área, locação correta de estradas, carreadores, linha de alta tensão, árvores, ou outros obstáculos, presença de nível freático, local do ponto de captação ou de recalque da água, perigo de inundação.</li> <li>- Culturas: variedades escolhidas, práticas culturais que serão adotadas, potencial de ocorrência de doenças e pragas, susceptibilidade a mudanças de tratos culturais, dimensões máximas atingidas pela planta e profundidade média das raízes durante o seu ciclo, duração do ciclo de produção, necessidade hídrica de cada cultura irrigada;</li> <li>- Solo: caracterização do solo, determinação da classe granulométrica (textura), análise química em profundidade, caracterização estrutural, determinação das características como infiltração e de retenção ou armazenamento de água, presença de camadas de impedimento, potencial de erodibilidade, análise do potencial desalinização, homogeneidade dos solos presentes na área (pode ocorrer mais de um tipo de solo).</li> <li>- Água: tipo de fonte (superficial, subterrânea), quantidade disponível (variação temporal), qualidade (salinidade, sedimentos, biológica), planejamento de uso em função da cultura a ser irrigada (calendário, vazão, duração), análise do ponto de captação.</li> </ul>

**Quadro 4** Etapas, fases, identificação dos objetivos e dos impactos dos projetos de irrigação e suas características (Cont.)

Levantamento e caracterização da propriedade ou área a ser irrigada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clima: Dados meteorológicos diários, análise das condições médias da região para avaliar a climatologia considerando variáveis como precipitação pluvial, temperatura e umidade do ar, vento, radiação solar, análise de condições adversas como ocorrências de geadas e chuvas intensas, por exemplo.</li> <li>- Energia: Fonte (elétrica, diesel) e potência disponível.</li> <li>- Institucional: disponibilidade local de mão-de-obra, necessidade de técnicos especializados para reparos, manutenção e operação. Necessidade de treinamento. Disponibilidade de capital do agricultor ou do usuário (custo inicial aumenta com o aumento de sofisticação do sistema).</li> <li>- Disposições legais e políticas: direito da água, incentivos governamentais, zoneamento agrícola como o de riscos climáticos, impostos, leis que obrigam a contenção de enxurradas ou água de drenagem.</li> </ul>
Pré-seleção dos tipos de sistemas mais promissores e adaptáveis às condições existentes.	O principal critério que deve ser utilizado para pré-selecionar sistemas adaptáveis na área a ser irrigada é, a partir dos objetivos definidos e das condições da área conhecidas, escolher os sistemas de irrigação que potencialmente atendam estas condições. Esta etapa se torna mais fácil de ser realizada à medida que se ganha experiência as regiões e as culturas. Entretanto, a experiência anterior com determinados sistemas ou localidades não pode induzir o projetista a olhar todas as situações de forma idêntica, ignorando condições diferenciadas que existem e eliminando a análise de alguma opção que pode ser interessante para o agricultor.
Comparação técnico-econômica dos sistemas pré-escolhidos	Para que os sistemas pré-selecionados para as condições da propriedade agrícolas sejam comparados é necessário estimar alguns condicionantes técnicos e outros econômicos para viabilizar a escolha do sistema ideal. Desta forma, cada sistema deverá ter um anteprojeto que conste, preliminarmente, o dimensionamento hidráulico de suas partes, uma relação de materiais e com uma avaliação do custo de investimento, sendo, posteriormente, realizada uma análise econômica de cada opção. Após a execução dos anteprojetos, os sistemas devem ser comparados para ponderar qual apresenta a melhor configuração para atingir os objetivos traçados inicialmente no projeto pelo produtor.
Seleção do sistema de irrigação	O sistema selecionado deve ser o que melhor atenda os objetivos do empreendimento e os interesses do produtor. Como na fase anterior de pré-seleção, as melhores opções de sistemas que atendem os objetivos técnicos e econômicos devem ser separadas, sendo que o sistema escolhido será, quase sempre, aquele que trará a maior lucratividade ou o melhor retorno econômico do investimento. Entretanto, poderão ocorrer casos onde a obrigatoriedade da irrigação aliada a necessidade de reduzir a ocorrência de impactos negativos possam levar a uma solução que não atenda plenamente aos objetivos econômicos.
Decisão final do sistema a ser utilizado	Toda decisão será com base nas informações que contribuam no processo de definição do uso da técnica de irrigação

Fonte: Autoria própria (2023)

### **2.11.1 Métodos de irrigação**

Considera-se como irrigação a tecnologia que adota um determinado processo que disponibilize água às plantas, para suprir a demanda hídrica tanto em cultivos agrícolas, tanto como em solos tanto em soluções hidropônicas (Abad, 2007). O método de irrigação é a forma pela qual a água pode ser aplicada às culturas, e basicamente, são quatro: superfície, aspersão, localizada e subirrigação. De acordo com a classificação do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural SENAR (2019) para cada método, há dois ou mais sistemas de irrigação que podem ser empregues, sendo descritos os sistemas e suas características no quadro 5.

**Quadro 5** Vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de irrigação

Método de irrigação	Tipo	Características	Vantagens	Desvantagens
Aspersão	Convencional	é constituído apenas por sistema de bombeamento, linha principal, linha lateral, tubo de elevação do aspersor	Exige menos mão de obra; proporciona fácil aplicação de fertilizantes; Permite o tráfego de máquinas na área irrigada; e Não exige a construção de cabeçal de controle e sistemas de filtragem.	A aplicação de água é influenciada pela ação do vento; Dependendo da sensibilidade da cultura, o impacto das gotas pode derrubar flores e danificar folhas, influenciando diretamente na produção; e cria condições favoráveis para o desenvolvimento de doenças causadas por fungos.
	Autopropelido	é um sistema móvel que possui um único canhão hidráulico, que se desloca pelo terreno por meio do enrolamento da própria mangueira alimentadora de água		
	Pivô central	sistema de movimentação circular que se desloca por meio do alinhamento de suas torres, que possuem movimentos independentes por possuírem motores individuais		
	Sistema linear	um sistema de movimentação circular que se desloca por meio do alinhamento de suas torres, que possuem movimentos independentes por possuírem motores individuais.		
Localizada	Gotejamento	a água é distribuída por uma rede de tubos de polietileno e os emissores utilizados são chamados de gotejadores, que aplicam água a baixas vazões, podendo variar entre 2 e 20 L/h (litros por hora).	Apresenta maior eficiência na aplicação de água; Propicia baixo consumo de energia; Diminui a incidência de plantas invasoras; É de fácil automação; Demanda menor mão de obra; Permite maior frequência de irrigação, sendo ideal para solos arenosos; Proporciona fácil aplicação de fertilizantes; e O vento e a declividade do terreno não limitam a irrigação.	Apresenta muitos problemas de entupimento; Exige a construção de cabeçal de controle e sistema de filtragem eficiente; É de alto custo de implantação; e Exige uma rotina de manutenção do sistema rigorosa. Apresenta baixa eficiência de aplicação de água; Possui elevado consumo de água; É necessário fazer sistematização do terreno; e
	Microaspersão	a água é distribuída por uma rede de tubos de polietileno e os emissores utilizados são chamados de microaspersores, que aplicam água a vazões que podem variar de 20 a 150 L/h (litros por hora).		
Superfície	Sulcos	a água é aplicada utilizando pequenos canais que se adaptam a lavouras cultivadas em fileiras.	É de baixo custo de implantação; Pode ser utilizado em áreas sem energia elétrica; Pode ser irrigado com água de baixa qualidade ou contendo resíduos orgânicos; e Demanda pouca mão de obra.	Apresenta dificuldade de operação e automação.
	Inundação	uma lâmina d'água é mantida constante em grande área e, por isso, se adapta melhor à cultura do arroz. É o método mais simples e mais usado no mundo.		

Fonte: Autoria própria (2023)

## **2.12 Tecnologia sustentável no contexto dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)**

A agenda 2030, subscrita em setembro de 2015 pelos 193 estados-membros da Organização das Nações Unidas (ONU), é um ambicioso plano de ação global para a erradicação da pobreza e promoção de uma vida digna para todos. O acordo se organiza em torno de 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas desenvolvidas para orientar as ações de indivíduos, estados e demais instituições rumo a um 2030 sustentável (United Nations, 2018).

Os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) visam, a longo prazo acabar com todas as formas de pobreza. Trata-se de um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e bem estar social, apelo este que aborda várias dimensões do desenvolvimento sustentável (nas dimensões social, econômico, ambiental) visando promover a paz, a justiça e a eficiência das instituições (United Nations, 2016). A mobilização dos meios de implementação para garantir os recursos financeiros, desenvolvimento de tecnologias, transferência e capacitação dos beneficiários, é também reconhecida como fundamental no processo de desenvolvimento sustentável. O grande desafio é conseguir transformar esta visão em realidade, sendo de responsabilidade dos governos dos países. Isto demanda de novas parcerias e solidariedade internacional onde todos têm um papel a desempenhar (United Nations, 2016).

Assim, há que se considerar o interrelacionamento das tecnologias de produção sustentáveis ao alinhamento dos ODS, sendo que a partir de uma meta global para atingir o tão almejado desenvolvimento sustentável. Quando se observa o conjunto de metas e a complexidade do ODS 6, que trata exclusivamente de água e saneamento, é uma temática complexa pela diversidade de assuntos envolvidos, tais como: universalização do acesso à água potável e ao saneamento, vulnerabilidade social e questões de gênero, conservação dos ecossistemas/mananciais; controle da poluição; gestão integrada e gestão transfronteiriça dos recursos hídricos; cooperação internacional e apoio à capacitação para países em desenvolvimento e participação cidadã na gestão das águas (Miranda et al., 2023).

Na prática, torna-se um desafio proeminente em função das desigualdades socioeconômicas, regionais e intrarregionais existentes, as quais são potencializadas face ao contexto das variações ou de mudanças climáticas (Bronzatto et al., 2018). O ODS 6 é dedicado também ao cumprimento das metas da agenda 2030 e condiciona fortemente ao sucesso de toda a agenda dos ODS, dentre os objetivos traçados, prioriza-se a erradicação da pobreza (ODS 1), erradicação da fome e desnutrição crônica (ODS 2), e de forma sustentável, a gestão de

ecossistemas terrestres (ODS 15) só pode ser alcançada através da gestão sustentável, e equitativa da água. Em particular, as interligações entre os ODS relacionados à água e outros ODS exigem um foco na gestão integrada de recursos hídricos (Borgomeo e Santos, 2019).

Na visão da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a agricultura de subsistência e a produção de alimentos, as condições sociais impregnadas na vida das pessoas e a gestão de recursos naturais não são tratados separadamente, mas de forma interligada. Com seus 17 ODS e 169 alvos associados, a agenda aumenta a escala, a ambição, e a interconexão de esforços de desenvolvimento internacional. As interligações e as compensações entre esses objetivos estão presentes, posto que os ODS incluem alvos-chave para desenvolver uma abordagem integrada para sua implementação, como a meta 17.14 do ODS (aumentar a coerência das políticas para desenvolvimento). Este foco na coerência das políticas oferece a oportunidade para entender e navegar pelas sinergias e compensações entre os objetivos, a fim de garantir que o progresso seja feito em todas as dimensões do desenvolvimento sustentável (Borgomeo e Santos, 2019).

A Agenda 2030 compromete totalmente os Estados Membros com a gestão dos recursos hídricos e cooperação transfronteiriça sobre aqueles recursos, até implementar a gestão integrada de recursos hídricos em todos os níveis, inclusive por meio da cooperação transfronteiriça conformem apropriado. Um aspecto que diferencia os ODS de outros acordos estabelecidos no âmbito da temática do desenvolvimento sustentável é o fato de essa agenda não ter efeito juridicamente vinculativo, ou seja, não se pretendeu conceber força jurídica aos ODS e, desta forma, os estados signatários não têm a obrigação de considerá-los com força de lei em seus sistemas legais (Biermann et al., 2017).

Os países têm criado estruturas de governança como fez o Brasil, por meio do Decreto 8.892/2016, continuando as ações de governo orientadas pela legislação vigente. E em Moçambique após a adoção da Agenda 2030, em setembro de 2015 e a sua entrada em vigor a 1 de janeiro de 2016, o país tomou medidas para integrar os ODS nas políticas, nos instrumentos nacionais de gestão econômica e social, assim como introduziu mecanismos e arranjos institucionais para garantir uma abordagem inclusiva na implementação da Agenda 2030 (Juthá et al., 2020)

De acordo com Biermann et al. (2017) a nova abordagem de governança, por meio de metas, concede margem de manobra para escolhas e preferências de cada país, comum grau de liberdade para que os governos determinem suas próprias ambições de implementação dos objetivos. Por esta razão, Castro et al. (2019) apontaram que o sucesso da governança por metas depende da formalização de compromissos em nível nacional e da concretização dos ODS por

meio de indicadores adequados. Os ODS trazem oportunidades para criar impulso para a ação e investimento na gestão da água agrícola.

### **2.13 Irrigação por potes de argila: Contexto histórico**

Em regiões áridas, há predominância de pequenos produtores rurais associados á grande concentração de minifúndios, ocasionando em anos de seca, prejuízos na economia da região semi-árida, afetada drasticamente, comprometendo principalmente os agricultores de base familiar rural. A fragilidade dos meios de resistência a seca, efetivamente disponíveis constitui o fundamento básico para as práticas conservacionistas pelo manejo do solo e da água (Medeiros et al., 2013).

O método de irrigação por unidades porosas não é de hoje, foi mencionado em um livro escrito há cerca de 2000 anos na China (Sheng, 1974), e os romanos já utilizavam há muitos séculos (Bainbridge et al., 1998). Na atualidade, muitos pesquisadores trabalham sobre antigos métodos de irrigação que primam, sobretudo, pelo baixo custo, alta eficiência de aplicação, baixo custo e pela economicidade da água para irrigação, para que fossem aplicados a extensas áreas.

As primeiras experiências feitas por Mondal (1974, 1978) utilizando potes de argila como método de irrigação, indicaram que plantas como abobrinha (*Curoubita sp.*) podem efetivamente crescer ao redor dos potes em condições de solo normais, salinos, e sódico-salinos, a uma pequena quantidade de água correspondente a uma lâmina de 1.7 cm/ha/800 potes, durante um período de 70 dias. Os testes preliminares com pequenas unidades de argila surgiram nessa altura, com dimensões aproximadas de 15 cm de altura por 8 cm de diâmetro realizadas pelo Instituto de solos no Irã em 1977, utilizando tanto água normal como salina, embora tenham alcançado bons resultados, aconselhou-se a necessidade de estudos complementares.

Foram desenvolvidos ensaios experimentais com o método de irrigação por potes de argila na EMBRAPA por Silva *et al.* (1982), através da interconexão de potes de argila por meio de eletrotubos, cuja instalação, operação e manutenção do sistema poderá usar a mão de obra da família do pequeno agricultor, pela sua simplicidade. Os ensaios foram desenvolvidos para a cultura de melancia, melão e feijão caupi.

Na África, existem experiências desenvolvidas por Chingura (1994) em Burkina Fasso e no Senegal que demonstraram a irrigação de potes com capacidade para 15 litros sendo

usada em pequenas hortas domésticas numa superfície hortícola de 10m<sup>2</sup>, com um consumo estimativo em cerca de 300 litros de água durante um período de 100 dias de cultivo.

Os estudos realizados por Daka (1991) enfatizaram a contribuição que o uso de potes de argila pode trazer para a redução da pegada hídrica na agricultura, economizando até 70% de água em comparação com a irrigação por aspersão. Nessa altura foram apresentadas evidências de que os potes de argila também têm sido usados para estabelecer arbustos de deserto (Bainbridge et al., 1998). Os potes de argila são usados comumente pelos produtores para diferentes fins como conservação de água de consumo, confecção de alimentos, ornamentação entre outros fins, mas neste caso, a água é canalizada para suprir às demandas hídricas das plantas.

### **2.13.1 Estudos prévios realizados sobre o uso de irrigação com potes de argila**

No Quadro 6 são descritos estudos publicados sobre o uso de potes de argila como ferramenta de suporte a agricultura de base familiar, tendo sido uma técnica milenar tradicional usada em diversas regiões do mundo, para suprir as necessidades hídricas das culturas com o levantamento de vantagens para facilitar a implementação e o potencial acesso a matéria prima disponível. A eficiência da tecnologia pode potencializar o seu uso por certificadores de avaliações de Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) pelo reúso da água da chuva, produção de alimentos livres agrotóxicos e regulação térmica identificados no estudo de Carlos et al. (2021).

**Quadro 6** Resultados publicados sobre a adoção de irrigação com potes de argila

Autor	Ano	Principais constatações
Bainbridge	2001	Este método tem sido usado em áreas áridas do norte da África, América Latina, Sudeste Asiático e Oriente Médio há milhares de anos. Os resultados mostraram que ao contrário da irrigação por gotejamento, os potes são feitos com material e habilidade disponíveis localmente, minimizando o risco de assoreamento, alto custo de manutenção e entupimento de materiais e geralmente não requerem campos planos.
Daka	2001	Indicou-se que esta técnica de irrigação é uma opção eficaz, e ambientalmente sustentável para ajudar os camponeses a manter a oferta hídrica para diferentes cultivos.
Namara et al.	2005	A irrigação por potes de argila utiliza elementos de uso tradicional do homem rural. Os potes são confeccionados por artesãos com argila presente no solo, e muitas vezes com inclusão de outros aditivos dependendo da forma de fabricação. A tecnologia exige pouco trabalho para irrigar comparado com outras tecnologias de irrigação, apresenta menos vulnerabilidade ao entupimento e podendo ser consertado se houver dano físico aos potes.
Abu-Zreig et al.	2006	Os resultados de experimentos de potes de argila em sistema de monitoramento devidamente controlado mostraram quantitativamente que os potes de barro têm forte capacidade auto-regulação. Existindo assim uma forte relação linear entre as taxas de evaporação e infiltração. As taxas de infiltração dos potes do tipo foram caracterizadas por alta porosidade e condutividade hidráulica, aumentada de 190mL/d para tão alto quanto 1040 mL d <sup>-1</sup> quando as taxas de evaporação (Ep) aumentou de 1 para 16 mm/d. O aumento correspondente para potes do tipo B, caracterizado por baixa porosidade e condutividade hidráulica, foi de 60 a 1000 ml d <sup>-1</sup> . A influência das propriedades hidráulicas dos potes na taxa de infiltração parecia ser forte em valores baixos de Ep, mas fraca em altos valores de Ep. Esses resultados indicaram que a maioria dos tipos de argila os jarros podem ser adequados para irrigação em climas áridos evaporação de alto potencial.
Vasudevan et al.	2007	Constatou que a eficiência da irrigação com potes de argila depende de muitos fatores, incluindo o tipo de solo, as espécies de plantas, a estrutura e a fertilidade do solo, a competição de ervas daninhas e o microclima local.
Kefa et al.	2013	A partir dos resultados obtidos da análise da água de irrigação aplicada e dos rendimentos das culturas resultantes para cada ensaio de campo realizado, concluiu-se que o sistema de irrigação por potes de argila foi mais eficiente do que por sulcos. O sistema de economia de água de 97,1% para a cultura do milho e 97,8% para a cultura do tomate, respectivamente. Em termos de rendimento o sistema com potes de argila também é mais produtivo por unidade de água aplicada. O método de irrigação por potes de barro é uma tecnologia que economiza água, e otimiza rendimentos por unidade de água sob leve a moderado abastecimento de água quando comparado ao método de irrigação por sulcos.
Siqueira et al.	2018	A experiência de aprendizagem coletiva proporcionada pelos potes de argila favoreceu ao pensamento crítico, bem como despertou entre os agricultores a busca por soluções coletivas, promovendo o empoderamento e autogestão da produção local, a partir do Projeto IrrigaPote.
Martorano et al.	2018	Desenvolveram uma solução para armazenar água da chuva e tornar o armazenamento hídrico nos potes todo autônomo, ou seja, sem a necessidade do agricultor se preocupar em abastecer os potes. A captação da água da chuva ocorre por meio de calhas instaladas na base dos telhados e armazenada em reservatório (caixa d'água) para ser redistribuída aos potes por meio de tubos (PVCs), os quais são conectados aos potes por canos de plásticos (mangueiras). A água é pela mangueira em um orifício na tampa do potes, onde na parte interna a mangueira é conectada a uma boia e todo processo se retroalimenta, mantendo sempre cada pote na capacidade máxima que é de 20 L.
Carlos e Martorano	2020	O sistema instalado permitiu a melhoria da disponibilização de água às plantas, com um a ampliação de oportunidades de no mercado local e impulsionou mudanças na vida dos produtores. Sendo que, o estudo concluiu que existe potencial de expansão em diversas regiões no mundo.
Carlos et al.	2021	Estudaram diferentes arranjos de espécies cultivadas na área irrigada com potes de argila, e concluíram que essa tecnologia promove reduções na temperatura do solo. No solo exposto demonstrou ineficiência na manutenção dos estoques de água no solo, intensificando as perdas por evaporação, nos horários mais quentes do dia. O sistema de produção irrigado com potes de argila apontou indicadores de regulação térmica, um importante serviço ambiental passivo de valoração com os resultados da termografia no infravermelho próximo.

Fonte: Autoria própria (2023)

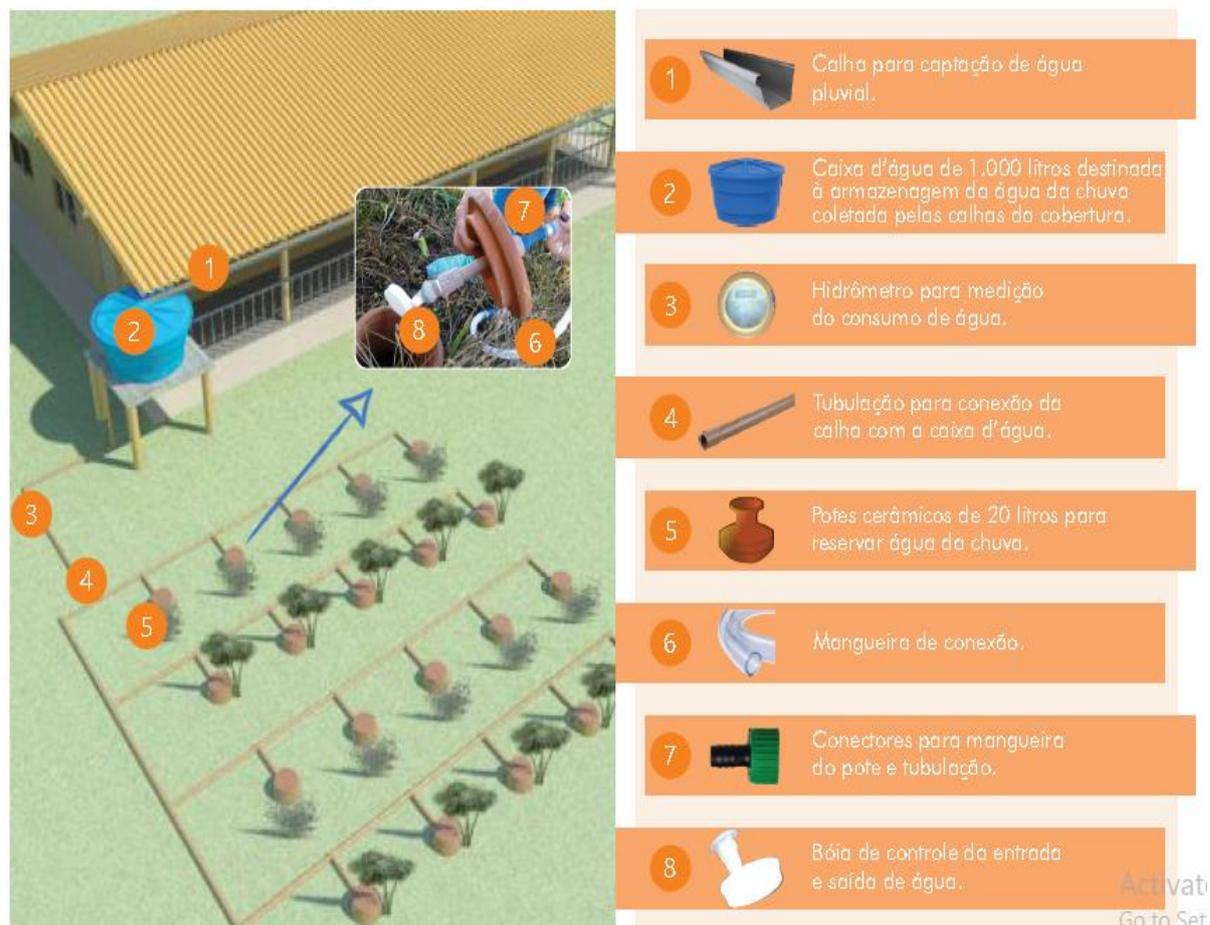
### **2.13.2 Projeto de irrigação com potes de argila no Oeste do Pará**

O projeto piloto de irrigação com potes de argila no Oeste do Pará teve o nome IrrigaPote, e foi liderado por pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental e da Universidade Makelle na Etiópia onde a partir de uma cooperação internacional desenvolveram o projeto na propriedade do produtor rural. O projeto teve duração de dois anos, e tinha o objetivo de garantir o reaproveitamento da água da chuva para atender as necessidades hídricas nos cultivos em sequeiro para os produtores de base familiar.

O projeto foi instalado na Comunidade de Lavras, no município de Santarém, e após 7 anos de implantação, esta área é designada por Unidade de Referência Tecnológica (URT) e alberga uma área total de 0.5 hectares, com um total de 18 potes com capacidade média de armazenamento de 20 litros por pote, e a pluma de molhamento para cada pote atinge em média 1,5 metros. Os potes de argila foram produzidos pelos ceramistas tradicionais locais de Icoaraci, em Belém, capital do estado do Pará. É de se salientar que, a irrigação por potes de argila possibilita a manutenção da água pluvial em reservatórios de água com capacidade acima de 1000 litros, sendo que, essa água é canalizada por um sistema de calhas e tubos de PVC apropriados, que direcionam a água aos potes de barro enterrados ao solo, sendo a entrada da água controlada por um sistema de boia.

Todo o processo é alimentado mecanicamente por força gravitacional, sendo que o fechamento das boias é controlado quando os potes atingem os 20 litros (volume máximo de água dentro de cada pote), os componentes e suas funcionalidades são ilustrados na Figura 2. É de ressaltar que, no período em que o solo está seco, ou seja, com deficit hídrico, por estratégia fisiológica ocorre fechamento estomático nas folhas e o alongamento das raízes finas que se prolongam até atingir a parede externa dos potes, sugando a água necessária para manter suas taxas evapotranspiratórias. Como o pote é poroso, as raízes finas das plantas ao localizarem a parede de cada pote, sugam somente o que elas necessitam, sendo essa estratégia eficiente de manutenção do turgor e sobretudo, evitar o desperdício hídrico (Martorano et al., 2018).

**Figura 2** Imagem ilustrativa da funcionalidade do sistema de irrigação com potes de argila na Unidade de referência tecnológica em Lavras- Área do projeto IrrigaPote



Fonte: Martorano, 2020

## 2.14 Gestão do conhecimento: a sua importância e caracterização

Na perspectiva epistemológica da apresentação de apropriação de conhecimento, são realçados os aspetos cognitivos, isto é, os aspetos de aquisição do conhecimento, sendo o conhecimento visto como fazendo parte exclusivamente da mente humana, a capacidade mental (ou cognitiva), onde o conhecimento tácito como o conhecimento explícito se complementam, numa dinâmica que caracteriza a natureza humana, através da sua criatividade e imaginação, possibilitando a criação de novo conhecimento e melhorando assim, a eficácia e eficiência no local de trabalho (Martins, 2010 e Newell et al., 2009).

Desta forma, a gestão do conhecimento nada mais é do que a gestão dinâmica do próprio processo de criação de conhecimento (Choo e Neto, 2010 e Nonaka e Nishiguchi, 2001). No contexto organizacional, pode-se designar que a gestão do conhecimento trata essencialmente do conhecimento existente, reportando a um conjunto de táticas, com o intuito de promover a implementação de técnicas e metodologias, orientadas por uma estratégia

organizacional, sustentada numa cultura transparente, aberta e aceita no contexto social organizacional, com o objetivo de promover um ambiente propício à partilha de conhecimento entre colaboradores e *stakeholders*, conduzindo assim a uma melhoria contínua dos serviços prestados pela organização aos seus clientes (Chaffey, 2010, Maier, 2005, Martins, 2010 e Xavier et al., 2012).

Davenport e Prusak (1998) afirmaram que a única vantagem competitiva e sustentável de uma empresa é o conhecimento coletivo que ela tem, a forma como usa esse conhecimento e a prontidão com que adquire e utiliza novos conhecimentos. Para Wernke et al. (2003) a gerência dos ativos intelectuais se tornou a tarefa mais importante dos negócios nas organizações desde que o conhecimento passou a ser o fator mais importante de produção.

A literatura apresenta diversas tipologias que categorizam os tipos de conhecimento. Nonaka e Takeuchi (1997) categorizam o conhecimento em dois tipos, nomeadamente: o conhecimento Explícito e o conhecimento Tácito. O conhecimento explícito é um tipo de conhecimento formal e sistemático, que pode ser registrado em papel, expresso em forma palavras, números, desenhos e símbolos. Pode ser codificado e embutido em regras e documentos formais, ferramentas e processos. Também pode ser facilmente comunicado e compartilhado entre as pessoas, sob a forma de dados brutos, fórmulas científicas, manuais, princípios universais e especificações (Binotto et al., 2013, Choo e Neto, 2010; Nonaka, 1991; Nonaka e Konno, 1998).

Já o conhecimento tácito é um conhecimento informal, altamente pessoal, que está vinculado aos sentidos, à percepção individual, à capacidade de expressão corporal, às convicções, às perspectivas, aos palpites subjetivos, aos *insights*, às intuições, aos valores e às emoções e, por isso, um conhecimento de difícil transmissão e formalização. Em outras palavras, é o que as pessoas sabem, mas têm dificuldade de explicar, é o conhecimento pessoal adquirido através de experiências, o qual é composto por modelos mentais de cada indivíduo, por crenças, paradigmas e pontos de vista e pelo *know-how* (Chen e Chen, 2006; Choo e Neto, 2010 e Nonaka e Takeuchi, 1997).

Corrêa (2018) e Probst et al. (2002, 2009) baseando-se em estudos sobre os processos e procedimentos adotados nos mais variados tipos de empresas, propuseram modelos de gestão que variam de acordo com a percepção de cada um deles a respeito desse fluxo. A questão imposta aos pesquisadores foi identificar as políticas, os procedimentos e as tecnologias desenvolvidas para coletar, distribuir e utilizar efetivamente o conhecimento disponível, tanto no ambiente interno quanto no externo, visando o cumprimento dos objetivos organizacionais. Dessa forma, verifica-se um movimento crescente das organizações no sentido de adotar ações

para apoiar os processos de construção do conhecimento e de sua gestão de maneira a garantir a sua sustentabilidade e distinção no mercado. Essas ações estão voltadas para a identificação, aquisição, desenvolvimento, compartilhamento, retenção e utilização do conhecimento que se constituem nos seis elementos fundamentais quando se trata de gestão do conhecimento (Probst et al., 2002).

Assim, existe a necessidade de relacionar esta área de gestão do conhecimento com a preocupação e o interesse crescentes no mundo atual pela área da agricultura e o meio ambiente pela elevada demanda de problemas ambientais e a existência de conhecimentos subaproveitados sobre práticas e procedimentos para a solução dos problemas ambientais no contexto de desenvolvimento sustentável, conhecimentos estes que ainda não tem os seus espaços definidos, existindo apenas como conhecimento criado mantido apenas no âmbito individual (Escrivão e Nagano, 2014). Logicamente vislumbra-se que esse conhecimento seja melhor aproveitado por mais atores sociais. Isto é, parte da proposta apresentada nesta tese, na qual o uso da irrigação com potes de argila é apresentado na perspectiva de gerenciamento do conhecimento, o que inclui a identificação de práticas e, a verificação dos fatores que dificultam ou facilitam a implantação de rotinas e procedimentos, nos mais variados tipos de organizações.

#### **2.14.1 Caracterização do processo de conversão do conhecimento**

O modelo de Gestão de Nonaka e Takeuchi (1997) aborda a criação de conhecimento, mostrando a relação entre as dimensões ontológico-epistemológicas da criação de conhecimento baseada num diálogo ininterrupto entre conhecimento tácito e explícito (Vasconcelos, 2007). Esse modelo é fundamentado na “Teoria da Criação do Conhecimento Organizacional” que tem como base o processo de conversão de conhecimento, nominada por eles como Modelo de Socialização, Externalização, Combinação e Internalização SECI (Figura 3).

Este modelo, consiste num processo de interação que promove transformações entre o conhecimento tácito e explícito, é composto de quatro etapas: Socialização, Externalização, Combinação e Internalização. Assim, uma organização cria e utiliza conhecimento, convertendo o que seja tácito em explícito e vice-versa, sob as quatro as formas de interação dinâmica. É importante realçar que as fases de conversão de conhecimento ocorrem em forma de espiral ou hélice, e é este modelo que identifica os processos de transformação entre os conhecimentos tácito e explícito (Inkpen, 1996).

**Figura 3** Criação do conhecimento no modelo de Socialização, Externalização, Combinação e Internalização (SECI)



Fonte: Adaptado de Nonaka e Toyama (2003)

Assim, seguindo o modelo SECI, um novo conceito é reproduzido em um grupo, extrapolando o indivíduo de forma particular, desenvolvido e esclarecido evolutivamente. Dessa forma, ocorre a partir daí uma espiral de conhecimento, com o comprometimento pessoal, que de forma gradual conceitos úteis e valiosos obtêm uma ampla aceitação e são progressivamente cristalizados em vários processos de conversão entre o conhecimento tácito e o explícito, evoluindo desde o indivíduo para o grupo e chegando até a organização.

### 2.14.2 A teoria do Espaço Ba

No que diz respeito à Gestão do Conhecimento, é importante criar e implementar uma cultura que incentive a comunicação, a colaboração e a partilha da informação, cultura esta que se materializa dentro de um espaço chamado “Ba” (Rubenstein e Geisler, 2003). Esse conceito considera os espaços pelos quais o capital intelectual de uma organização pode ser desenvolvido e melhor aproveitado. Segundo Nonaka e Toyama (2003), a chave para a compreensão do processo de criação do conhecimento é o pensamento e a ação dialética, que transcende e sintetiza tais contradições. A integração de aspectos opostos por meio de um processo dinâmico de diálogo e prática permite identificar como uma organização cria conhecimentos continuamente.

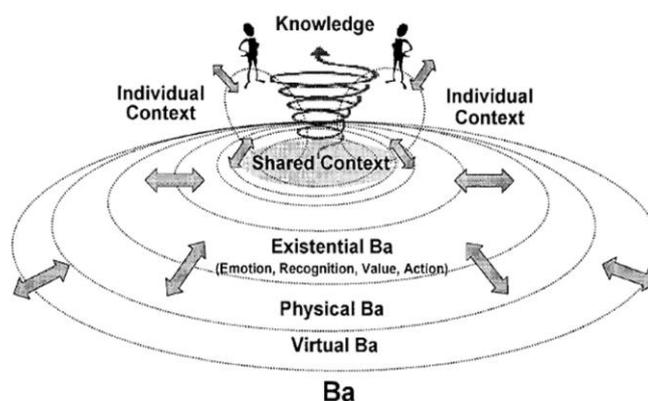
O Ba nasce do conceito que traduz aproximadamente a palavra *espaço* em inglês e outras línguas, o qual pode ser pensado também como um espaço compartilhado para relacionamentos emergentes, que podem ser físicos, virtuais, mentais ou qualquer combinação entre esses espaços. O que diferencia o espaço Ba da interação humana comum é o conceito de criação de conhecimento, a provisão de um conhecimento individual e coletivo de aconselhamento, onde constrói-se uma plataforma que integra todas as informações necessárias (Stewart, 2002). Considera-se o espaço Ba, um ambiente propício à partilha de conhecimento, e é formulado pela interceção de quatro variáveis influenciadoras e distintas (Venkatesh et al., 2003).

A primeira variável é o **Indivíduo**, referindo-se ao utilizador das soluções de gestão do conhecimento e na disposição de partilhar o seu conhecimento. A segunda variável é a **Organização**, que se refere à cultura organizacional instituída, no sentido de abertura à partilha e à aprendizagem. A terceira variável é o ambiente **Social**, enquanto influenciador do comportamento do colaborador inserido num registo de convivência diária com os colegas de trabalho. Como última variável, o ambiente **Virtual**, referencia que integra a parte a infraestrutura tecnológica utilizada para expressar, registar e partilhar os diferentes tipos de conhecimento que compõem as diferentes dimensões de um negócio. Alguns autores referem-se ao espaço Ba como sendo um lugar de interação no mundo virtual, onde é combinado o novo conhecimento explícito com a informação existente (Pereira e Silva, 2019).

O Espaço Ba determina o lugar e o tempo onde a informação é interpretada para tornar-se conhecimento, sendo esta parte da função mental do indivíduo (Nonaka e Konno, 1998; Nonaka e Nishiguchi, 2001). Na agricultura, pela natureza da atividade há muito conhecimento tácito não registrado, conseqüentemente a maioria das decisões são tomadas muito distantes da realidade do pequeno produtor. As várias abordagens dadas pela gestão do conhecimento estão intimamente relacionadas com a criação de um contexto que é visto nesta tese como espaço Ba apropriado para ativar esta condição e verificar os pontos fortes e as limitações desse sistema de irrigação, mais direcionado ao agricultor familiar.

No espaço Ba, os indivíduos envolvidos se reúnem, relacionam e se comunicam. Partindo dessa interação no Espaço Ba, eles compartilham conhecimentos e adquirem novos conhecimentos, num processo contínuo que vai se aprimorando em uma Espiral do Conhecimento. Esta espiral gerada vai então moldando o novo conhecimento ou a inovação prática (Pribadi, 2010). Neste espaço, espera-se que os indivíduos possam explorar, adquirir, criar, compartilhar e acumular conhecimento para melhoria das suas capacidades individuais (Figura 4).

**Figura 4** Representação conceitual do Ba



Fonte: Nonaka e Toyama (2003)

Estudos de Nonaka e Konno (1998) revelaram que existem quatro tipos de Ba e cada um deles é adequado a um estágio do modelo SECI, ocorrendo em tempo e locais específicos, a saber:

- Ba originário: é o contexto no qual os indivíduos trocam sentimentos, emoções, experiências e modelos mentais, removendo, pela empatia e pela confiança, as barreiras que dificultam a troca de conhecimento tácito entre os indivíduos. Este espaço representa a fase da Socialização, no qual se inicia o processo da criação de conhecimento e está associado à cultura e visão da organização.
- Ba interativo: é o contexto conscientemente construído para reunir pessoas com específicos conhecimentos e capacidades em eventos na organização (e.g. projetos, força-tarefa e reuniões). A reflexão coletiva que acontece nesses eventos é chave para tornar o conhecimento comum a todos. Este espaço representa a fase da Externalização, no qual o conhecimento tácito torna-se explícito para o grupo.
- Ba virtual: é o contexto no qual a interação entre o conhecimento explícito novo e o existente acontece no mundo virtual em vez de no local físico. Este espaço representa a fase da Combinação, em que a tecnologia (e.g. networks, groupware, e-mails, database) é o modo mais eficiente para a combinação dos conhecimentos.
- Ba prático: é o contexto em que o conhecimento explícito torna-se tácito para os indivíduos, suportado principalmente por treinamento e coaching recebido por mentores, conhecimento formalizado (manuais), e por aplicativos que permitam simulações e experiências. Este Espaço representa a fase de Internalização.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Descrição das áreas de abrangência do estudo**

Esta pesquisa foi desenvolvida em duas localidades específicas, sendo uma no Brasil e outra em Moçambique. No Brasil, a pesquisa foi realizada na comunidade de Lavras, onde se identificou uma tecnologia social que gerou benefícios sociais, econômicos e ambientais, e hoje volvidos sete anos de uso se consolidou numa Unidade de referência tecnológica em Santarém. Já em Moçambique, o estudo abrangeu a província de Maputo, especificamente a área do vale do Infulene para análise e gestão hídrica local e as possibilidades de avaliação das condições de replicabilidade e monitoramento do consumo hídrico nas culturas de interesse ao produtor em sistema de irrigação por potes de argila.

##### **3.1.1 Comunidade de Lavras**

No Brasil, o estudo foi conduzido na comunidade Lavras, no município de Santarém, no estado do Pará, região norte do Brasil, parte integrante da Amazônia Oriental. Essa comunidade está localizada próxima aos municípios de Belterra e Mojuí dos Campos. Em Lavras, a maioria da população depende da agricultura para a sua subsistência. Entretanto, verifica-se uma dualidade entre produtores, onde em seu entorno encontram-se produtores que dedicam-se à monocultura da soja, de milho e também criação de gado bovino enquanto isso encontram-se os agricultores de base familiar que produzem culturas diversificadas para o seu autosustento e comercialização de excedentes. Os grandes produtores apresentam domínio no uso de tecnologias diferenciadas como a mecanização, os fertilizantes, os defensivos agrícolas. Os agricultores familiares geralmente desprovidos de tecnologias de irrigação, praticam agricultura em sequeiro, sendo que a única fonte de irrigação é a água da chuva, com o consórcio de árvores frutíferas, mandioca, amendoim, algumas espécies nativas, feijão, cultivadas em pequenas porções de terra (inferior a 1 hectare), (Carlos e Martorano, 2020).

Assim, foi instalado em 2016, uma tecnologia social de irrigação com potes de argila na comunidade de Lavras, sendo uma referência tecnológica de irrigação de baixo custo e boas práticas culturais produtivas. A base para a sua operacionalização é o armazenamento de água pluvial em caixas d'água em períodos de maior oferta. Esta água é redistribuída gradualmente até aos potes enterrados no solo.

A propriedade rural do agricultor familiar contabiliza uma área total de 4 hectares, sendo que em 3 hectares foram cultivados e 1 hectare e a área residencial, área de criação de animais e jardim. A URT tem as dimensões lineares 18 x 25 m. Totalizando cada pote cheio pode disponibilizar 360 litros na UTR, totalizando um consumo médio de 12 litros mensais por pote.

Assim, para manter o sistema em funcionamento pleno, conta-se com bóias, tubos PVCs, conectores hidráulicos para ligar os canos de borracha (mangueiras) ligados as tampas dos potes de argila no solo. É de referir que, para a sua funcionalidade esta tecnologia não requer um controle específico das taxas evapotranspiratórias, e nem desperdiça energia para funcionar e nem precisa de esforço humano para fazer o manejo ou repor a água nos potes. O consumo hídrico é regulado pelas plantas em função da demanda atmosférica e das suas necessidades hídricas.

### **3.1.2 Vale do Infulene**

O Vale do Infulene está localizado no distrito municipal de Khambukuano, província de Maputo, sul de Moçambique. A implantação do perímetro irrigado foi iniciada no ano de 1974. Possui uma área de 615 hectares irrigada por superfície, associada a 400 hectares de áreas em sequeiro, chegando a disponibilizar por safra 50 toneladas de hortícolas no mercado das cidades de Maputo e Matola.

O clima de Moçambique é tropical úmido com duas estações (a estação chuvosa que é mais longa e a estação seca que é menos pronunciada). O Vale do Infulene resulta da ramificação do Rio Incomáti, próximo à sua foz. O riacho que conforma esta baixa tem o nome de Mulahuzi e percorre vários bairros periféricos das cidades de Maputo e Matola, numa extensão que ultrapassa 20 km<sup>2</sup>, e 500 m<sup>2</sup> de largura média antes de desaguar na Baía de Maputo. Os solos na zona baixa do Vale do Infulene são pesados, e pretos (solos aluvionares). O aproveitamento da zona baixa para a atividade agrícola se realiza em ambas as margens do riacho. Possui uma descarga total que varia entre 0.2 a 0,7 m<sup>3</sup>/s, sendo que nesta bacia existe grande influência da água de retorno de indústrias e da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) (Boana, 2011).

Mais ao norte deste limite do riacho é da zona baixa que se situa a zona alta do Vale do Infulene, onde os solos são arenosos com pouca capacidade de retenção da água, sendo por isso, usados para o plantio das culturas de sequeiro (principalmente o milho, a mandioca, o amendoim e o feijão nhemba). A origem da água utilizada é oriunda das infiltrações das

encostas arenosas, sendo bastante explorada pela agricultura de base familiar, sector privado e cooperativo no cinturão verde de Maputo, para irrigação de hortícolas, principalmente pelo método de valas de regulação do lençol freático. Verifica-se um considerável aumento de salinidade e de contaminação pelas águas de esgoto (Sitoe, 2008).

### **3.1.3 Khongolote**

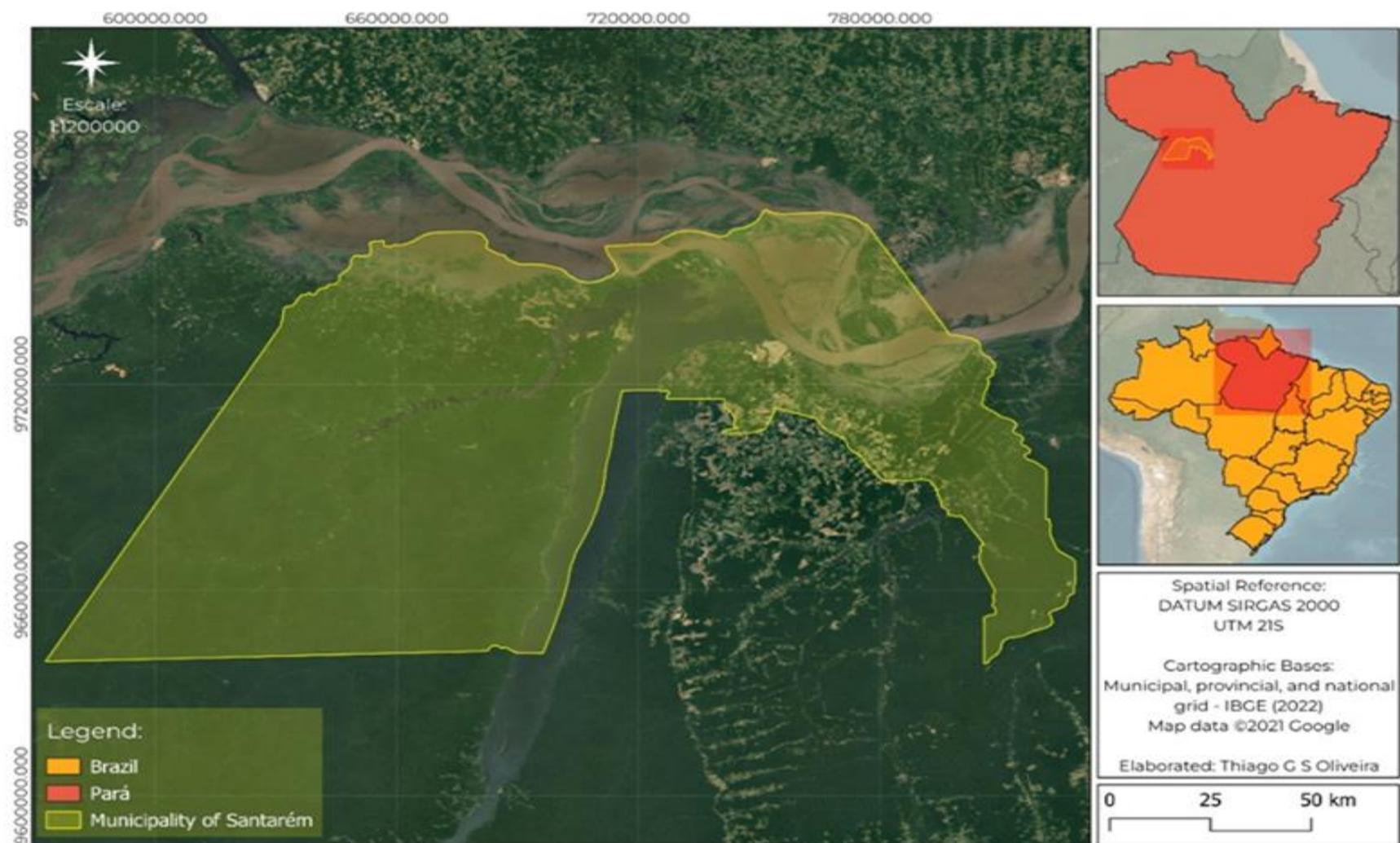
O experimento realizado com fins didáticos para avaliação da adaptabilidade dos potes de argila às condições de Maputo, foi realizado no campo experimental da Universidade São Tomás de Moçambique, no bairro de Khongolote a 200 metros do Vale do Infulene, com as coordenadas geográficas -25,8442 latitude e 32,5434 longitude. A altitude varia em 48 metros acima do nível do mar. Tendencialmente apesar desta área ser atravessada pelo rio Mulahuze ela tem características do solo mais áridas. Na totalidade, a área engloba cerca de 80 hectares subdivididos em área habitacional, área de pomar, e campos de produção agrícola. A área total do experimento teve 10.5 por 6.5 metros. As Figuras 5 e 6 ilustram as áreas de abrangência do estudo, a localização geográfica da Comunidade de Lavras em Santarém no Pará e no Vale do Infulene em Maputo.

#### **3.1.3.1 Caracterização climática da Província de Maputo (área do ensaio didático)**

Os dados climáticos foram obtidos pelo instituto Nacional de Meteorologia, o clima de estepe prevalece e clima de savana tropical 452 aw. Na província e existe pouca pluviosidade durante o ano. A classificação do clima e BSh de acordo com a classificação de Koppen e Geiger. As província de Maputo têm uma temperatura média de 22.9 °C, o mês de junho é o mês mais frio com temperaturas mais baixas é o mês de dezembro e o mês mais quente com temperaturas mais altas. A pluviosidade média anual é de 713 mm, os meses de maior precipitação são de outubro a março (Chilundo et al., 2014).

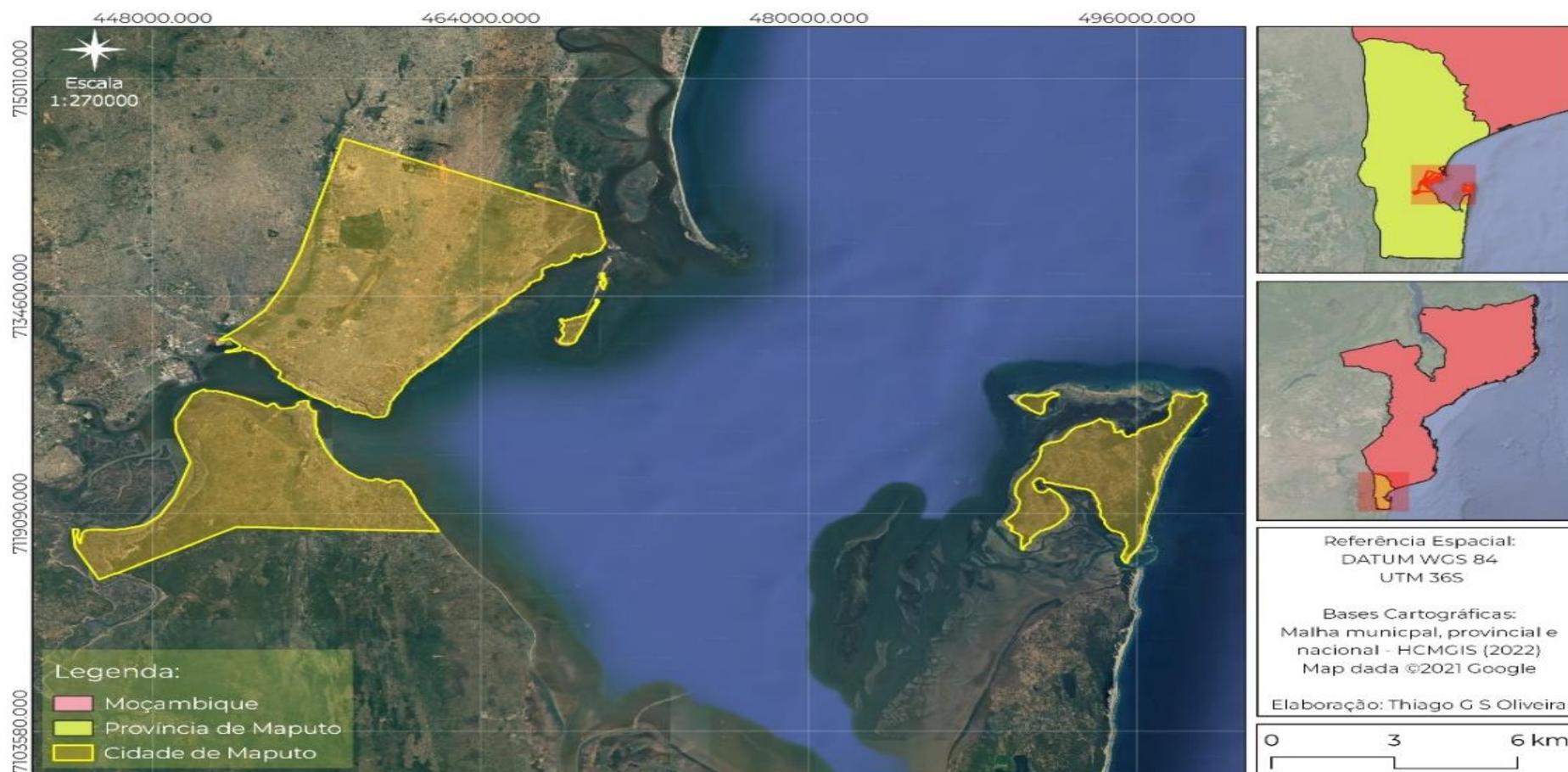
Em termos de radiação solar, em maio o maior número de horas diárias é medido em Maputo em media são 8.23 horas de sol por dia e um total de 255.04 horas durante todo o mês. O menor número de horas de sol em Maputo é medido em janeiro em que em media há 7.89 horas de sol por dia e, um total de 244.45 horas de sol durante o mês. Ao longo do ano são contabilizadas cerca de 2873.12 horas de sol, em media são 94.45 horas de sol por mês (Uele et al., 2017).

**Figura 5** Imagem ilustrativa das áreas de abrangência do estudo: Lavras no Município de Santarém-Pará (A)



Município de Santarém ilustrado no Mapa do Estado do Pará (A)  
Fonte: Carlos et al. (2023)

**Figura 6** Imagem ilustrativa das áreas de abrangência do estudo: Província de Maputo, (Vale do Infulene e Khongolote )



Fonte: Carlos et al. (2023)

### 3.1.4 Caracterização das Bacias hidrográficas do Rios Tapajós e do Rio Infulene

#### a) Rios Tapajós, Amazônia, Brasil

A Amazônia tem um grande potencial hídrico, sendo o maior reservatório de água doce do mundo, tanto em recursos hídricos superficiais, quanto em recursos hídricos subterrâneos. A relação entre sociedade e recursos hídricos na Amazônia tem uma dinâmica singular, se comparada aos outros biomas do país. Esta bacia hidrográfica é caracterizada pela sua importância perante as comunidades que utilizam a água como fonte de alimento, transporte, moradia e comunicação com outras partes do território brasileiro, sendo dependentes da disponibilidade hídrica para a sobrevivência e a manutenção das atividades cotidianas. É nesse contexto que a água para essa região se configura como um elemento essencial para a dinâmica socioeconômica na região (Lima et al., 2017).

A bacia hidrográfica do rio Tapajós em termos de expansão territorial engloba os estados de Mato Grosso, Pará e Amazonas, e uma pequena porção em Rondônia o que representa quase 6% do território brasileiro e tem grande relevância ecológica, cênica, social e cultural (WWF, 2018). A bacia do rio Tapajós abrange 492.000 km<sup>2</sup>, é uma região ainda conservada, funciona como uma grande muralha verde, pela produção de *commodities* na área de transição com o cerrado (Montoya e Finamore, 2020), e pela proliferação de pequenas propriedades ao longo das rodovias BR-163 (Cuiabá-Santarém) e BR-230 (Transamazônica), o rio Tapajós é o único com grandes afluentes na margem direita do rio Amazonas (Silva et al., 2018).

Os principais afluentes do Tapajós são os rios Jamanxim, Crepori, Teles Pires e Juruena. As cabeceiras dos rios Juruena e Teles Pires estão em uma área de Cerrado, já bastante alterada, que é gradativamente substituída pela floresta amazônica ao norte, ao longo de uma extensa área de transição altamente antropizada. À medida que se segue em direção ao rio Amazonas predominam florestas ombrófilas abertas e florestas ombrófilas densas, com entraves de florestas estacionais, campos e campinaranas, e florestas aluviais ao longo dos rios (Cornetta, 2018).

Segundo levantamento do Ministério do Meio Ambiente (2008) com base em imagens de satélites cerca de 77,7% (382.266 km<sup>2</sup>) da bacia estava coberta por vegetação nativa. Entretanto, nas últimas décadas, a Amazônia tem sido palco do aumento da ocupação e da antropização do território, sendo chamada de a última fronteira agrícola do país (Amorim et al., 2020). De acordo com o levantamento do WWF Brasil, (2018) baseado nos dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o tipo de uso mais frequente na bacia são pastagens,

cobrindo 78.128,03 km<sup>2</sup>, seguido por agricultura (47.309,31 km<sup>2</sup>) e desmatamento sem uso identificável (1.482,04 km<sup>2</sup>).

No município de Santarém, a expansão da fronteira agrícola e a mudança do uso e ocupação, nas últimas décadas, provocaram alterações na qualidade dos recursos hídricos (Silva et al., 2019). Em 2016, a produção de soja no Pará superou a produção de mandioca, que até então era o principal cultivo agrícola do Estado (Homma et al., 2020) destacando Santarém como um dos municípios paraenses com expressiva produção de soja. O cultivo de soja se expande em áreas florestais e é responsável por grandes aportes de agroquímicos nos recursos hídricos no município. Essa expansão sem planejamento provoca inúmeros problemas ambientais, inclusive de eutrofização dos sistemas aquáticos, causado, principalmente pelo despejo de esgoto sem tratamento e resíduos agrícolas nesses ambientes (Sousa et al., 2018 e Pinheiro, 2019) De Mesquita Sousa et al. (2018). A qualidade da água da região Amazônica esta sendo comprometida pois existem grandes e pequenas cidades que se desenvolveram ao longo dos rios de uma forma desordenada com pouca ou nenhuma estrutura de saneamento básico: coleta e tratamento de esgoto, abastecimento de água potável, manejo de água pluvial e de resíduos sólidos e limpeza urbana (Aquino et al., 2017).

#### **b) Rio Infulene, Moçambique**

Na região sul de Moçambique, localizam-se as bacias hidrográficas compartilhadas com os países vizinhos, sendo que os 4 maiores rios na província de Maputo são o rio Maputo, o rio Umbeluzi, o rio Incomati e o rio Limpopo, cujas jusantes localizam-se em Moçambique. Essas bacias hidrográficas apresentam um baixo índice de escoamento e intrusão salina junto ao estuário até cerca de 50 km (Ribeiro, 2018). O rio Incomati é uma das principais bacias hidrográficas da zona sul de Moçambique, e esta bacia é partilhada entre as províncias de Maputo e Gaza, abrangendo aos distritos de Maputo Cidade, Magude, Manhiça, Marracuene, Moamba, Namaacha e Bilene, Chókwé e Massingir respetivamente. Esses rios apresentam um caudal baixo na época seca devido à grande evaporação e amplitude do rio. Isso significa que os países a montante desses rios não descarregam água para Moçambique porque usam água o quanto podem na época seca. Em termos de dimensões, o Rio Incomati tem uma área total de 46,649 km<sup>2</sup>, onde 14,998 km<sup>2</sup> correspondem a parte moçambicana, com o comprimento total de 783 km e 283 km em Moçambique (Siteo, 2008). Segundo a Direção Nacional Das Águas (2017) a área de captação da bacia hidrográfica do Rio Incomati é de 283 km<sup>2</sup> com uma declividade média de 5.2°.

No contexto Moçambicano, a maior parte dos rios correm para o oceano Índico de leste a oeste. A Direção Nacional De Gestão de Recursos Hídricos (DNGRH, 2012) indica que o total de bacias hidrográficas é de 104 considerando a direção do caudal, dentre as quais uma bacia é adjacente ao Oceano Índico. Os rios internacionais compartilhados em Moçambique cobrem cerca de 52% do território nacional, mas apenas 20% de todas as bacias são compartilhadas com vários países.

Sendo assim, cerca de 50% do caudal superficial tem origem nos países vizinhos. À jusante desses rios internacionais compartilhados, Moçambique têm a prioridade de administrá-los de forma contínua e celebrar acordos sobre a gestão integrada de recursos hídricos com países relevantes nas comunidades ribeirinhas individuais (MASA, 2015). A maior parte dos rios, exceto os pequenos adjacentes ao oceano, apresentam um caudal abundante durante 3 a 4 meses na época chuvosa, mas com caudal é reduzido durante o período remanescente.

### **3.2 Coleta de dados para análise**

No âmbito de elaboração desta tese, o processo de coleta de dados para análise, cumpriu cinco principais momentos, descritos e detalhados a seguir:

- Calibragem de dados secundários usados na ferramenta de predição de riscos hídricos em bacias hidrográficas em Santarém e em Maputo;
- Levantamento de séries históricas temporais de dados climáticos na *Global Resource Information Data Base* (GRID) pela European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), para análise de temperatura, precipitação e umidade dos locais identificados na pesquisa;
- Levantamento de dados para análise de balanço hídrico;
- Realização de uma dinâmica em campo através de socialização interativa para coleta de dados primários com os produtores que usam a tecnologia de irrigação com potes de argila;
- Levantamento junto aos produtores no Vale do Inluene dos fatores associados a gestão hídrica local que potencializam ao uso de irrigação com potes de argila;
- Desenvolvimento de um ensaio experimental para a replicabilidade da tecnologia de irrigação com potes de argila em Maputo.

### 3.2.1. Calibragem da ferramenta de predição dos riscos hídricos

Para prever o ponto situacional das bacias hidrográficas nos municípios de Santarém e em Maputo, foram utilizados dados secundários disponíveis em diferentes bases que integram a plataforma *online* de livre acesso *Aqueduct Water Risk*. Deste modo, foram realizadas análises para identificação de riscos associados aos recursos hídricos nas áreas agricultáveis dos dois países (Brasil e Moçambique) e diagnosticou-se o comportamento quanto a exposição das bacias hidrográficas desses dois (2) municípios, utilizando-se uma base de dados secundários. A partir das funcionalidades do *Aqueduct Water Risk* geraram-se mapas globais atuais e previsões futuras quanto a riscos físicos quantitativos, qualitativos, regulatórios e reputacionais das bacias que sustentam os cultivos irrigados.

O *Aqueduct* utiliza 12 indicadores, sendo que 7 deles se enquadram na categoria de risco físico quantitativo, 2 para a categoria de risco físico qualitativo e 3 para a categoria de risco regulatório e reputacional. Na presente pesquisa foram realizadas simulações de risco em bacias hidrográficas que abastecem as áreas de estudo: Comunidade de Lavras no Oeste do Pará e no Vale do Infulene No sul de Moçambique, estas simulações de risco permitiram: (a) a identificação dos riscos; e (b) a demonstração das oportunidades associadas às bacias hidrográficas que abastecem as áreas de estudo, (c) verificar as potencialidades do sector agrícola no que concerne aos recursos hídricos.

Na Tabela 1 apresentam-se os 12 indicadores usados pela ferramenta divididos por categoria de riscos com base nos pressupostos metodológicos do *International Water Resources*. Os limites e classificações indicados na mesma Tabela 1, possibilitam a interpretação dos mapas produzidos para cada indicador.

**Tabela 1** Classificação e limites das variáveis de risco qualitativo, quantitativo e reputacional

Limites Variáveis	Inferior	Médio-Baixo	Médio-Alto	Superior	Superior Máximo
Interpretação do Risco	Baixo	Baixo médio	Médio alto	Alto	Extremamente alto
Deficit hídrico	<10 %	10 % - 20 %	20 % - 40 %	50 % - 80%	> 80 %
Variabilidade Sazonal	< 0.33	0.33 - 0.66	0.66 - 1.0	0.66 - 1.33	>1.33
Variabilidade Interanual	0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	<1.00
Depleção da linha de base	5 %	5 - 25 %	25 - 50%	0 - 75%	<75%
Declínio do Lençol freático	0 cm/y	0 - 0.2 cm/y	2 - 4cm/y	- 8 cm/y	>8 cm/y
Risco de inundação ribeirinha	para 1 em 1.000	1 em 1000 para 2 em 1000	2 em 1000 para 6 em 1000	6 em 1000 para 1000	Mais de 1 em 100
Risco de inundação costeira	para 9 em 1 000 000	9 em 1000 000 para 7 em 100 000	7 em 100 000 para 3 em 10 000	3em 10 000 para 2 em 1000	Mais de 2 em 1000
Risco de seca	0.0 - 0.2	0.2 - 0.4	0.4-0.6	0.6 - 0.8	0.8-1.0
Áreas residuais não tratadas	< 30%	30 - 60 %	60-90%	90 - 99 %	100%
Potencial de eutrofização costeira	< 5	-5 - 0	0-1	1-5	> 5
Água imprópria para o consumo	< 2.5%	2.5 - 5 %	5-10%	10 - 20 %	> 20 %
Saneamento inapropriado	< 2.5%	2.5 - 5 %	5-10%	10 - 20 %	> 20 %
Índice de risco	< 25%	5 - 50 %	50-60%	60 - 75 %	> 75 %

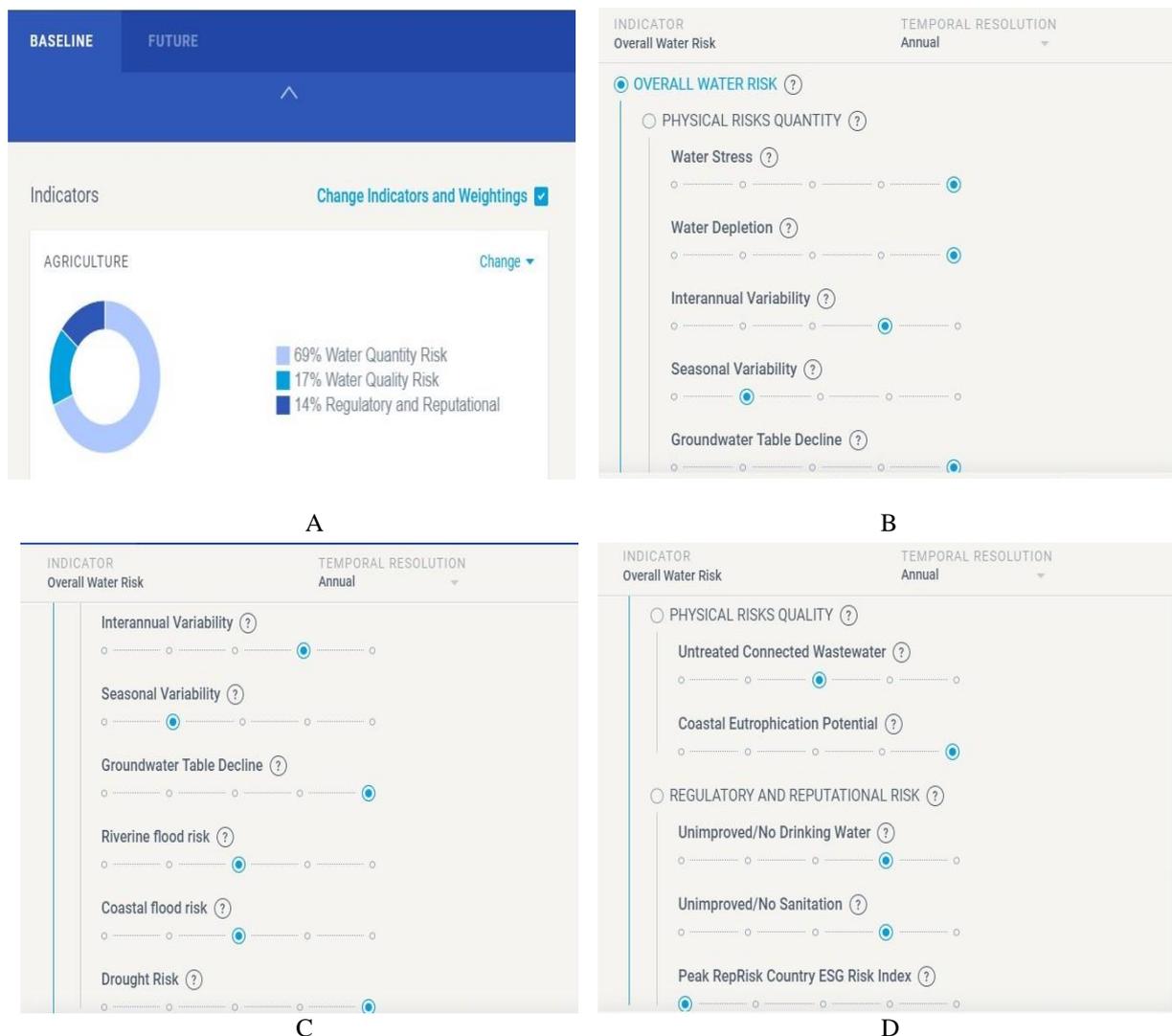
Fonte: adaptado WRI (2013)

A plataforma disponibiliza dados de sectores como: agricultura, indústrias alimentares e bebidas, indústria química, energia elétrica, semicondutores, óleo e gás, mineração, materiais e têxtil. Os indicadores possuem pesos distintivos, dependendo da área/setor que se pretende pesquisar. A pesquisa se centrou na água usada para fins agrícolas por nos constituir interesse a gestão hídrica na irrigação.

A ferramenta *Aqueduct Water Risk* disponibilizada pelo *World Resource Institute* (WRI) tem sido eficaz na divulgação de dados sobre as bacias hidrográficas, uso consutivo dos recursos hídrico em diversos setores. Considerando o estudo realizado por Carlos e Martorano (2019, 2022) esta ferramenta mostrou um alto potencial por usar dados secundários revisados por pares podendo ilustrar e tornar público as condições das bacias hidrográficas mundiais e conscientizar sobre o monitoramento dos recursos hídricos caso não haja uma intervenção mais acautelada sobre o seu uso.

Na Figura 7 apresenta-se os pesos atribuídos por cada indicador na ferramenta *Aqueduct* para as categorias de risco físico quantitativo, qualitativo, regulatório e reputacional na agricultura de Santarém e de Maputo. Os indicadores padronizados para a atividade agrícola perfazem um cumulativo de 17% para a categoria de riscos qualitativos, 69% para a categoria de riscos quantitativos e 14% para riscos regulatórios e reputacionais respectivamente.

**Figura 7** Padronização dos indicadores de risco hídrico para fins agrícolas. A – Mudanças do indicadores e pesos atribuídos, B – Padronização sobre o Risco geral da água, C – Padronização de Riscos físicos qualitativos da água, D- Padronização sobre os riscos regulatórios e reputacionais.



Fonte: Autoria própria (2023)

A calibração dos indicadores usados na tese foram balizados através de estudos de Gassert et al. (2014, 2015). Assim, os indicadores de stress hídrico, esgotamento de água e declínio do lençol freático foram padronizados com pontuação máxima (5x) uma vez que para o uso agrícola a sensibilidade desses indicadores podem impactar a atividade; O indicador

Variabilidade inter-anual (4x) possui pontuação alta, indicando que a variação inter-anual afeta de forma significativa as culturas; e o indicador variabilidade sazonal demonstrando maior sensibilidade (2x) indica a variação entre as épocas de verão e inverno e tende a ser mais estável.

O risco de inundação ribeirinha e risco de inundação costeira (3x) tiveram uma padronização em condição intermédia e risco de seca (5x) demonstra a sensibilidade atribuída a condição seca no desenvolvimento das culturas. d) as águas residuais não tratadas (3x); Potencial de eutrofização costeira apresenta padronização no limite máximo (5x) devido elevado ao dano que este processo pode causar aos recursos hídricos e meio ambiente, a falta de água própria para o consumo humano e inexistência de sistema de saneamento adequado têm propiciado a riscos ao desenvolvimento humano (4x).

Quando adicionadas as coordenadas geográficas ao sistema descritos na Tabela 2 foi possível identificar com precisão o diagnóstico sobre o risco hídrico e seu entorno nas bacias hidrográficas da Amazônia em Santarém e do Umbeluzi em Maputo.

**Tabela 2** Coordenadas geográficas de Santarém e Maputo

	Latitude	Longitude	Base
Santarém	-2.0446918	-54.7136192	Amazônia
Maputo	-25.969248	325731746	Umbeluzi

Fonte: WRI Aqueduct (2014)

### 3.3. Dados de avaliação climática (temporal) de Santarém e Maputo

Usou-se os dados secundários meteorológicos em GRID pela inserção das coordenadas geográficas de Santarém no Brasil e de Maputo em Mocambique, possibilitando o acesso a séries históricas temporais de clima, temperatura, precipitação e umidade relativa que possibilitou ao cálculo da evapotranspiração potencial e o índice de calor nas duas regiões. Obteve-se também a quantidade de chuva armazenada em quinquídios em cada serie durante os últimos 30 anos. O método utiliza as seguintes equações:

$$ETTPp = 16 \left( \frac{10Ti}{L} \right)^a \quad Ti > 0^\circ C \quad (1)$$

Onde: ETTPp – evapotranspiração média padrão em mm por mês

Ti – Temperatura média mensal

I Índice do calor na região, calculado com valores normais

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} P^3 - 7,110^{-5} P^2 + I + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (2)$$

Onde  $a$  = coeficiente empírico calculado em função do índice de calor na região

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0.2 T_i)^{1.514} \quad T_i > 0^\circ C \quad (3)$$

$$ETP = ETP_p \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \quad (4)$$

Onde: ETP = evapotranspiração potencial mensal, mm, mês

N= fotoperíodo

ND= número de dias do mês

### 3.3.1. Método para estimar o BH no solo em séries históricas em Santarém e em Maputo

Para realizar as análises sobre os estoques de água no solo foram levantados dados disponíveis na base Data Services (NASA/POWER CERES/MERRA2-OPeNDAP), considerando-se que as duas áreas de estudo estão em coordenadas no entorno das duas áreas de interesse na pesquisa (Moraes et al.,2020). Assim sendo, utilizou-se uma série histórica correspondente ao período de 1982 a 2022, referente aos dados de temperatura do ar média e precipitação pluvial (mm), extraíndo-se a média mensal dessa série histórica.

Em seguida, utilizou-se a planilha de balanço hídrico Rolim et al. (1998) considerando-se um ponto no grid (-2,5945 S e -54,766 W), correspondente ao local onde está instalada a Unidade de Referência Tecnológica (URT), com o sistema de irrigação com potes de argila, denominado IrrigaPote. O balanço hídrico (BH) das duas regiões foram calculados usando a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) seguindo pressupostos metodológicos descritos em Rolim et al. (1998) inserindo os dados na planilha eletrônica, adotando-se a capacidade de água disponível no solo (CAD) igual a 125 mm, considerando-se a zona dominante das raízes de culturas anuais como, por exemplo, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.).

Contudo, também foram analisados dados mensais de umidade do ar, temperatura usando a mesma série histórica adotada no BH, mas a diferença foi que na análise considerou-

se todos os meses em cada ano para identificar possíveis respostas nos cultivos agrícolas que poderiam estar associadas às condições de tempo e clima tanto em Santarém, no Pará quanto em Maputo, Moçambique. Em se tratando da área onde foi instalada um ensaio para fins didático em Maputo que é a capital de Moçambique, correspondendo ao grid (-25,8385 S e 32,5646 E), localizada na região da África Austral, situado na costa do Oceano Índico. Em Maputo concentra-se o centro administrativo, financeiro e mercantil do país.

#### **3.4. Dinâmica de campo para identificação do espaço Ba junto aos produtores da comunidade de Lavras**

A teoria do Espaço Ba foi aplicada para identificar e entender as conexões entre os atores sociais, as fontes de informações, processos e os fluxos de conhecimento entre os envolvidos na pesquisa de campo. Também foi realizada uma dinâmica de campo com atividades como: rodadas de conversas, elaboração de mapas mentais, elaboração de colagem com perguntas e respostas capazes de extrair informações com base no conhecimento tácito dos atores sociais, pesquisadores, extensionistas e os agricultores envolvidos no processo produtivo na URT. Todos os atores envolvidos na dinâmica assinaram previamente um Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE), salvaguardando os procedimentos éticos e o sigilo durante a pesquisa. O processo de coleta aconteceu em quatro fases (Figura 8), nomeadamente:

**Figura 8** Etapas de socialização da dinâmica em campo para coleta de conhecimentos e mudanças geradas na URT através da teoria do espaço Ba



#### **Reconhecimento da UTR de Irrigação com Potes de Argila**

- Partilha de experiências sobre a tecnologia
- Visitas á propriedade do produtor



#### **Socialização da metodologia no contexto do espaço BA**

- Apresentação dos objetivos da pesquisa
- Enquadramento da teoria do espaço Ba



#### **Sequência logica da construção do conhecimento**

- Apresentação do mapa mental contendo o diagnóstico participativo com os atores na propriedade rural: URT



#### **Percepção dos atores que lidam com a tecnologia do IrrigaPote**

- Dinâmica com os produtores e seus familiares sobre o conhecimento gerado

Fonte: Autoria própria (2023)

- *Reconhecimento da UTR de irrigação com Potes de Argila:* nesta fase, foram desenvolvidas as atividades e visitas quotidianas para melhor entendimento sobre as fases de implementação da irrigação com potes de argila, desde a sua concepção, as funcionalidades e firmação de parcerias. Nessa fase, os pesquisadores se inteiraram da vivência dos produtores, suas rotinas e conheceram o campo de visitação da propriedade do produtor de base familiar.
- *Socialização dos objetivos e dinâmicas participativas para identificar a existência do espaço Ba:* foi desenvolvido no local o mapeamento de práticas quotidianas entre os atores, onde pode-se abrigar as percepções dos produtores e seus familiares, com intuito de analisar a evolução do conhecimento e suas repercussões sociais em espaços onde este conhecimento percorreu e houve a consolidação da tecnologia de irrigação.
- *Sequência lógica da construção do conhecimento:* nesta fase, fez-se a construção de mapas mentais junto aos produtores que permitiram cadastrar espaços de partilha de conhecimento ao longo dos seis anos de implementação da URT. Assim, fez se a segregação das variáveis socioeconômicas, técnicas, ambientais e culturais, tais como: características da propriedade,

renda, diversidade de culturas, fontes de energia, métodos de irrigação. Assim, identificou-se também as fontes de captura e os espaços de conhecimento (físicos, virtuais e mentais).

- *Percepção dos atores que lidam com a tecnologia de irrigação com potes de argila:* entrevistas pessoais também foram realizadas para complementar os dados obtidos com a dinâmica em grupo. No primeiro momento, entrevistaram-se os produtores (n=2) e a segunda fase da entrevista foi realizada com dois membros da família (n=2), para entender as visões sobre o conhecimento gerado na visão do produtor e as mudanças percebidas em seus familiares.

Os dados primários qualitativos foram categorizados em variáveis, elas foram categorizadas em escalas nominais, ordinais e binárias intervalares (sim/não). A análise de componentes principais (ACP) foi efetuada através do procedimento para variáveis qualitativas (PRINQUAL), usando o programa estatístico Analytics & Solutions Software (SAS), de acesso livre visando quantificar as mudanças geradas no conhecimento e na consolidação da irrigação com potes de argila como uma tecnologia social que contribuiu para estabelecimento de um sistema agroflorestal.

Para análise dos dados foi usada a ferramenta SAS, onde as variáveis foram identificadas com letras minúsculas e números. A sequência exata é a seguinte: (a) economia; (b) custo de produção; (c) cadeia produtiva; (d) rendimento; (e) renda (f) lucro; (g) produtividade; (h) planejamento; (i) monitoramento; (j) avaliação; (k) sazonalidade; (l) cultivo consorciado; (m) sustentabilidade; (n) serviço ambiental; (o) serviço ecossistêmico; (p) ambiente de sazonalidade; (q) reutilização de água; (r) pegada hídrica; (s) chuvas; (t) evaporação; (u) evapotranspiração; (v) conforto térmico; (w) alterações climáticas; (x) gradiente térmico; (y) conservação; (z) preservação; (1) temperatura; (2) espécies; (3) atmosfera; e (4) fotossíntese.

Em seguida, os membros da família foram motivados para refletir sobre os aspectos após a implantação do projeto IrrigaPote e sua inserção no mercado local. Esse diagnóstico foi realizado em diferentes momentos entre dezembro de 2019 a outubro de 2021 para aferir as informações sobre o projeto na visão dos produtores sobre os pontos fortes, fracos, fraquezas e oportunidades (FOFA). A análise SWOT, do inglês, ou FOFA, do português, consiste no cruzamento de *Strengths, Weaknesses, Opportunities, e Threats*, que significam *Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças*, respectivamente. Pretendeu-se medir a favorabilidade do projeto diante de seus ambientes interno e externo (mercado). Os dados foram tratados de

forma categórica e codificada e contabilizada em planilha eletrônica (Microsoft Excel pelo programa Luz-Planilhas empresariais).

A partir dessa planilha fez-se um ranking dos problemas e oportunidades do projeto. Para cada item da matrix, foi pontuado a *importância* (categorizando em escalas: totalmente importante, muito importante, importante, pouco importante, sem importância), a *instensidade* (muito forte, forte, média fraca, muito fraca), a *tendência* (melhora muito, melhora, mantém, piora, piora muito), *urgência* (para ontem, muito urgente, urgente, pouco urgente, nada urgente) que pela escolha dos produtores em cada opção selecionada gera uma pontuação que permitiu produzir um índice de favorabilidade sobre o posicionamento do projeto face ao mercado interno e externo.

### **3.5. As dinâmicas participativas realizadas no vale do infulene em Maputo**

No Vale do Infulene em Maputo, a pesquisa incluiu produtores de base familiar para que fossem analisados os perfis, os métodos empregues no uso, gestão e conservação da água. Realizou-se o método de amostragem aleatória simples, considerando 50 produtores membros integrantes da lista disponibilizada pela associação dos produtores “Sombra da Enxada”, que contém um universo de 450 membros.

Antes da coleta de dados, o projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Bioética da Universidade São Tomás de Moçambique que emitiu um parecer favorável (Anexo I). Antes das entrevistas individuais, todos respondentes foram apresentados um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (Anexo II), para clarificar aos participantes sobre os objetivos da pesquisa e para que estivessem em concordância com o conteúdo nos questionários e da forma como a pesquisa seria conduzida. A coleta de dados foi realizada entre os meses de julho a dezembro de 2020.

Os questionários foram direcionados aos produtores por meio de diálogos espontâneos, gerando oportunidades para que novas informações fossem partilhadas a partir de percepções dos agricultores sobre o seu relacionamento com os recursos hídricos, contendo perguntas sobre aspectos socioeconômicos (e.g. idade, gênero, nível de escolaridade, condições de posse de terra, renda agrícola e organização social) e outras relacionadas à produção agrícola (e.g. consumo, satisfação e técnicas e métodos de conservação dos recursos hídricos). As observações diretas em campo também foram utilizadas, bem como o registro sistemático com imagens sobre os métodos de irrigação, o manejo da água e o acompanhamento de todo o processo de produtivo pelos agricultores do Vale. No anexo V são apresentadas as variáveis

usadas em campo e foi selecionada a análise de fatorial para conferir as relações entre as elas. Os questionários foram validados com o teste de confiabilidade cronbach alfa, que consistiu na testagem das variáveis usadas no estudo de 25 produtores antes de sua aplicação em campo. As variáveis foram desenvolvidas a partir de escalas, e após somadas considera-se o uso de variáveis preditivas em modelos objetivos.

Adicionalmente, foram utilizados dados secundários para identificar as áreas irrigadas e diferentes usos, tendo como fonte de dados o relatório final do Inquérito sobre Orçamento Familiar (INE, 2021) a base de dados do Inquérito Integrado Agrário do Instituto Nacional de Estatística e do Conselho Municipal da Cidade de Maputo. Para harmonização das métricas entre os diferentes documentos, fez-se a padronização de todos os dados que encontravam em metros quadrados para os valores correspondentes em hectares, considerando-se que 1 hectare é igual a 10 mil m<sup>2</sup>. Após a coleta dos dados primários, fez-se a categorização e tratamentos dos dados (Anexo V- Quadro 17) usando a ferramenta computacional *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* versão 22.

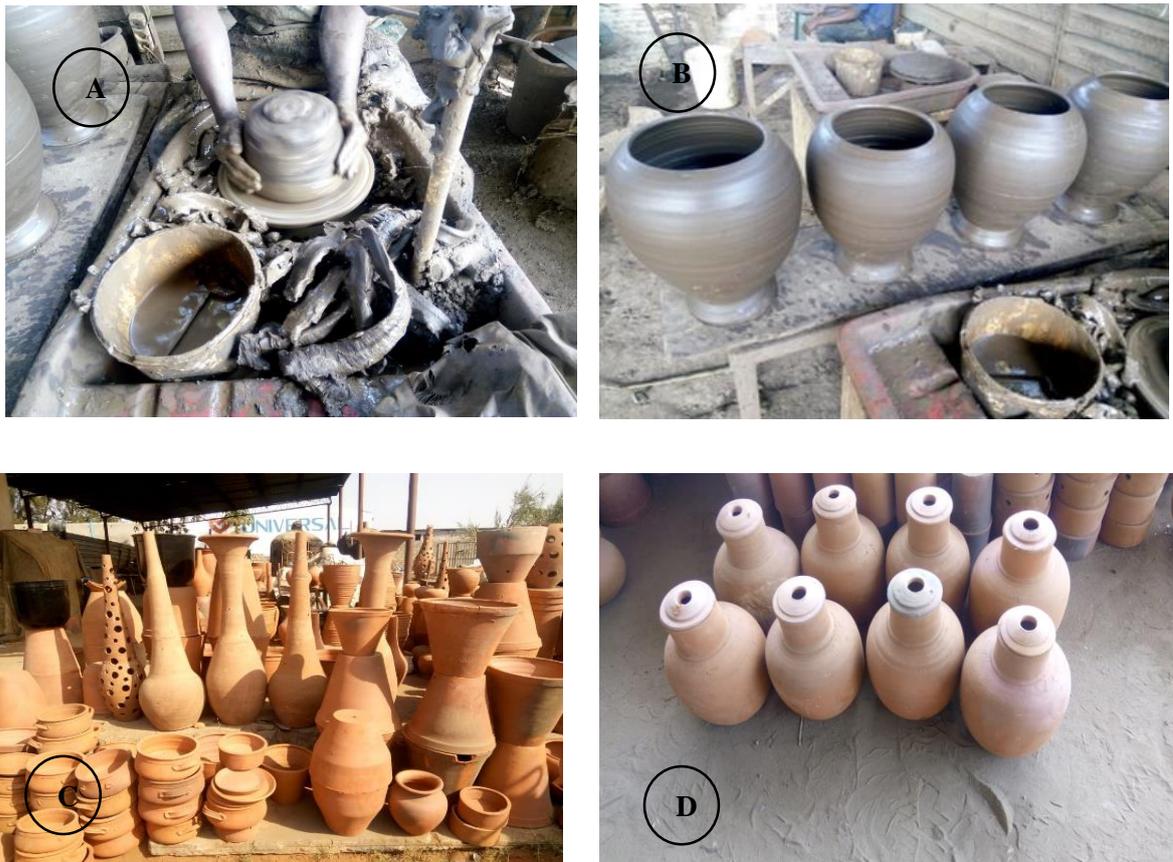
Para a realização de análises usou-se a estatística descritiva e inferencial, onde foram elaborados gráficos e tabelas que permitiram caracterizar os produtores familiares e fazer análises de identificação dos fatores com um nível de significância de 5%. O teste de Kaiser Meyer Olkin (KMO) foi usado como critério para identificar a análise fatorial e perceber se as variáveis usadas no estudo que se ajustaram adequadamente aos dados, segundo a pesquisa de Fabrigar e Wegener, (2011) este procedimento testa a consistência geral dos dados. Assim sendo, na elaboração da análise fatorial um dos requisitos observados foi  $KMO > 1$  e o teste do qui quadrado de Bartlett  $< 1$  (Joseph et al., 2010; Kruskal e Shepard, 1974). Após a verificação desta condição procedeu-se a análise fatorial e identificou-se os fatores relacionados com a gestão hídrica na irrigação no Vale do Infulene.

### **3.6 Ensaio experimental para a replicabilidade da irrigação com potes de argila em Maputo**

Primeiro, fez-se um levantamento dos potenciais ceramistas para confecção dos potes de argila. A produção dos potes foi feita manualmente, semelhante ao processo utilizado no Brasil, a existência de ceramistas locais evidenciou que a tecnologia poderia ser replicada em Maputo, respeitando a adaptação às condições locais. Após a identificação dos artesãos, em Malhazine, localizado a 20 km do centro de Maputo. Uma microempresa familiar que se dedica a produção de objetos de cerâmica há mais de 30 anos, e emprega 7 trabalhadores efetivos na cidade e província de Maputo. Para o ensaio, o artesão realizou a seleção da argila para garantir a

moldagem das peças (Figura 9). Após a confecção dos potes, os mesmos passam por um processo de cozimento em forno artesanal que dura entre 24 a 48 horas, e finalmente por um processo de secagem ao ar livre, durante 4 a 5 dias. Para instalação da unidade teste foram produzidos 20 potes com capacidade de armazenamento de 10 L cada um.

**Figura 9** Processo de produção dos potes usados no experimento. A- Seleção da argila e moldagem dos potes, B- dimensionamento dos potes usados no ensaio, C- Processo de secagem dos potes, D- Potes prontos a serem usados no ensaio



Fonte: Autoria própria (2023)

### 3.6.1. Processo de instalação do ensaio experimental

Para a consolidação dos procedimentos metodológicos estabeleceu-se um ensaio experimental, que consistiu na identificação do local que obedeceu as seguintes fases: (i) localização próxima ao local onde os produtores desenvolvem as suas atividades; (ii) capacidade de maximização e retenção da água pluvial; e (iii) Identificação de uma cultura de uso comum e de importância econômica no contexto moçambicano e brasileiro.

O ensaio foi realizado no campo experimental da Universidade São Tomás de Moçambique, no bairro de Khongolote, a 200 metros do Vale do Infulene, com as coordenadas -25,8442 latitude e 32,5434 longitude. A altitude varia em 48 metros acima do nível do mar.

Tendencialmente apesar desta área ser atravessada pelo rio Mulahuze, ela tem características do solo mais áridas. Na totalidade, a área engloba cerca de 80 hectares subdivididos em área habitacional, área de pomar e campos de produção agrícola. A área total do ensaio experimental teve 10.5 metros<sup>2</sup> de comprimento e 6.5 metros<sup>2</sup> de largura. Devido a proximidade da área experimental ao armazém, foi instalada uma calha junto ao telhado que permitiu a canalização da área pluvial a um reservatório de água instalado próximo ao campo. Fez-se o preparo do solo através da lavoura manual no dia 18 de janeiro de 2021, tendo sido eliminado todas as infestantes e os arbustos na área. Adicionalmente, fez se o reviramento do solo com um processo similar ao de gradagem, para permitir melhor afofamento da terra para receber a semente (Figura 10), e depois fez-se o nivelamento. Em seguida, procedeu-se a adubação de fundo com 40 kg de esterco de galinha que havia sido curtido 5 dias antes da data de realização da semeadura.

**Figura 10** Preparação do campo para o ensaio experimental



- A- Realização da Lavoura manual, B-Nivelamento e retirada de infestantes, C-Instalação do tanque onde será o reservatório de água pluvial, D- Demarcações na área, espaçamento entre linhas e entre plantas, E- Escavações, F- a cultura do feijão sendo irrigada pelos potes

Fonte: Autoria própria (2023)

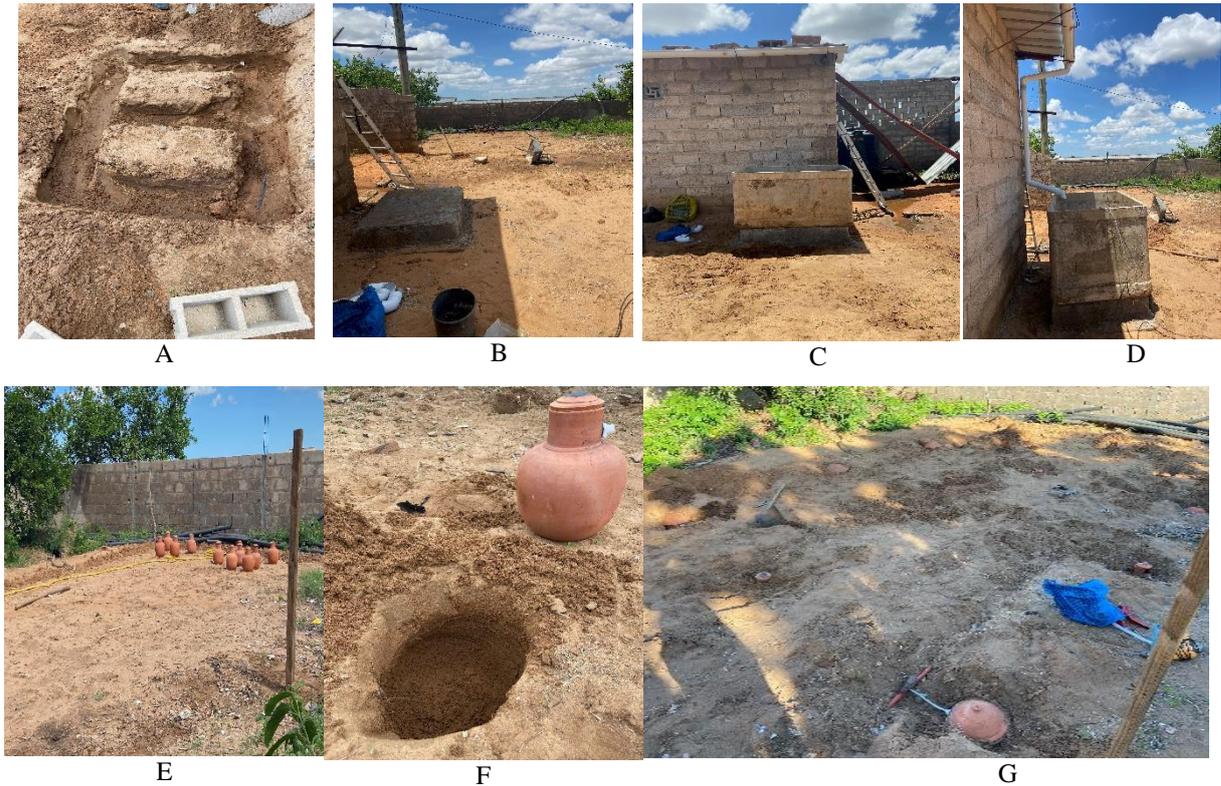
As pesquisas têm confirmado que a irrigação por potes de argila permitem reaproveitar a água e toda irrigação passa a ser realizada com base no reúso hídrico pluvial em época de alta pluviosidade (Berhe et al. 2015). A técnica usada foi adaptada da metodologia implementada em Lavras por Martorano (2020).

No ensaio experimental realizado em Maputo, os princípios de retroalimentação, de autonomia e de baixo custo também foram considerados ao conceber o projeto de instalação do sistema de irrigação. A caixa de água foi feita em concreto, com capacidade total de armazenamento de água chuva para 1000 litros, com uma única saída de água onde passa o tubo de alimentação para os potes enterrados no solo e conectados por uma ligação de tubos PVC que canalizam a água do tanque e as mangueiras que distribuem para os potes.

O ensaio experimental desenvolvido em Maputo, conteve um total de 20 potes de argila de 10 litros cada um, garantindo a capacidade de armazenamento total de 200 litros. É de salientar que existiram algumas diferenças entre a URT executada em Lavras e o ensaio para verificar a replicabilidade em Moçambique. Essas diferenças consistiram na altura de instalação dos tanques, na profundidade dos potes e no tipo de boia utilizada.

A caixa de água instalada em Khongolote na província de Maputo teve uma altura de 30 cm enquanto que na URT em Lavras tinha uma elevação de 50 metros. As boias utilizadas no ensaio tinham dimensão maior do que as boias usadas na URT, por isso os potes tiveram que ser adaptados ao modelo das boias. Assim, as escavações para enterrar os potes tinham em média 15 cm de profundidade. Na Figura 11 é possível verificar registros fotográficos durante a instalação do sistema de irrigação usando potes enterrados no solo em Khongolote.

**Figura 11** Instalação do sistema de irrigação com potes de argila no ensaio experimental para fins didáticos



- A- Escavações para receber o tanque de água, B- preparação da base de betão, C- momento em que se instalou o tanque de água, D- canalização dos tubos do telhado ao tanque, E-ordenamento dos potes, F-Momento de perfuração para implantar os potes, G- canalização dos tubos no solo  
 Fonte: Sequência de registros fotográficos realizados pela primeira autora em 2021

### 3.6.2. Seleção das sementes, sementeira e delineamento experimental do feijoeiro

Optou-se por utilizar o feijoeiro (ph. Vul.) tendo em vista seu ciclo curto e domínio de utilização por partados agricultores de base familiar rural envolvidos na pesquisa. Desta forma, decidiu-se usar sementes crioulas, denominada popularmente de “feijão manteiga” que foram cedidas pelos produtores rurais.

O experimento foi realizado nas condições edafoclimáticas de Maputo, sendo que previamente fez-se um teste de germinação com 50 sementes para perceber o teor germinativo. Para tal, as mesmas foram semeadas em três folhas de papel do tipo Germitest em formato de rolo. O papel foi previamente umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do substrato. As sementes foram dispostas respeitando uma distância de duas vezes seu tamanho e envoltas pelo papel formando um rolo, luz e à temperatura constante de 25°C e envoltos por sacos plásticos. Após quatro dias foi realizada a contagem de plantas normais, anormais, e sementes mortas e a porcentagem de germinação foi determinada a partir do número de plântulas consideradas normais.

A semadura foi realizada no dia 28 de janeiro de 2021, por precaução colocou-se 3 sementes por cova, caso houvesse uma germinação total faria-se o desbaste selecionando-se a mais vigorosa. Para o ensaio, usou-se o espaçamento de 0.35 cm entre linhas e 0.35 cm entre plantas, com uma densidade de 14 a 15 sementes por metro linear e 25 linhas em toda a parcela, tendo sido obtido um total de 100 plântulas. Vale ressaltar que não foi usado nenhum herbicida e inseticida, optou-se por respeitar os princípios de sustentabilidade, racionalidade e equilíbrio ecológico.

É de se referir ainda que, o arranjo espacial de plantas do feijão depende do porte da planta (ereto ou prostrado) e da fertilidade do solo. As cultivares de porte semiprostrado ou prostrado (ramador) necessitam de maior espaço e, em solos férteis como os de várzea, os espaçamentos podem ser maiores que os utilizados em terra firme (Pereira, 1990; Pinheiro e De Faria, 2005). Em ecossistema de terra firme, o arranjo espacial de plantas adequado para cultivares de portes semiereto e ereto cultivados é 50 cm entre fileiras e oito a dez sementes por metro linear, o que representa uma população de 160 a 200 mil plantas por hectare. E para alcançar essa população de plantas são necessários, em média, 35 kg a 40 kg por hectare de sementes de boa qualidade das cultivares de portes ereto e semiereto (Oliveira et al., 2019). Na Figura 12 observa-se a variedade de semente utilizada no ensaio experimental didático.

**Figura 12** Ensaio experimental da irrigação com potes de argila no campus da USTM



A-Sementes de feijão manteiga e imagens do solo; B- Semeadura realizada no Campo Experimental da Universidade São Tomás de Moçambique

Fonte: Autoria própria (2023)

#### **4. MODELO CONCEITUAL DE INDICADORES DE RISCO HÍDRICO, DO CONHECIMENTO E POTENCIALIDADES GERADAS PELA TECNOLOGIA DE IRRIGAÇÃO SUSTENTÁVEL NA AGRICULTURA**

O objetivo neste capítulo é apresentar um modelo conceitual para a construção de ferramentas de suporte à decisão para agricultura irrigada. O estudo analisa a relação entre a agricultura com a gestão dos recursos hídricos, por meio de ferramentas disponíveis para a melhoria de indicadores ambientais na agricultura. Os indicadores de riscos qualitativo, quantitativo, regulatório e reputacional em bacias hidrográficas foram identificados enaltecendo a necessidade de irrigação em polos de produção agrícola na Amazônia brasileira e no Sul de Moçambique.

A partir de dados secundários inseridos para análise na ferramenta *Aqueduct Water Risk*, visando identificar sob condições abióticas atuais e em cenário para 2040, considerando as seguintes variáveis de entrada nos modelos de simulações: quantidade, variabilidade, qualidade da água e vulnerabilidade. A concepção do modelo emergiu a partir de uso dos métodos e técnicas de pesquisa, quando foi possível compor a visão do trabalho para então denominar os principais componentes primordiais, seus atributos e dos elementos estruturais fundamentais do domínio.

Assim, a escolha de um sistema de irrigação demanda conhecimento aprofundado sobre as características de cada método de irrigação em função de diferentes condições de solo, água, clima, cultura, impactos, operação e manejo (Daka 2001, Faria et al., 2002, Testezlaf 2011). Assim, a tese focaliza na a irrigação com potes de argila, suas funcionalidades, e identifica aspectos de sustentabilidade social, econômico, ambiental e técnico a partir das experiências implementadas no Norte do Brasil. Com isso, foi possível mapear o conhecimento e, apresentar suas vantagens sócio-econômicas, podendo viabilizar a realização de ensaios experimentais para potencializar as condições necessárias de replicabilidade da tecnologia em diferentes contextos como suporte a agricultura familiar no Brasil e em Moçambique.

##### **4.1. Objeto central da tese**

O estudo analisa a relação entre a agricultura com a gestão dos recursos hídricos, onde o uso de ferramentas de suporte à decisão na agricultura vem crescendo, principalmente em decorrência da maior demanda por alimentos, flutuações climáticas e, até sob condição de prognósticos de mudanças no clima global. Os indicadores de risco de escassez de água em bacias hidrográficas com necessidade de irrigação em polos de produção agrícola na Amazônia

brasileira e no Sul de Moçambique, foram analisadas pela inserção de dados na ferramenta *Aqueduct Water Risk*, onde são identificados riscos qualitativos, quantitativos e reputacionais sob condições abióticas atuais e em cenário para 2040 apontaram riscos simulados em duas escalas de tempo (anual e mensal), considerando as seguintes variáveis de entrada nos modelos de simulações: quantidade, variabilidade, qualidade da água e vulnerabilidade.

Adicionalmente, considerando que planejamento de um projeto de irrigação agrícola passa por diferentes etapas conforme determinadas características das tecnologias a serem adotadas, considerou-se que os sistemas de irrigação devem ser definidos de forma clara e objetiva para dimensionar e avaliar a capacidade de adoção da tecnologia. Nessas etapas devem ser avaliados possíveis efeitos (positivos e negativos) durante a fase de planejamento. Um planejamento bem realizado de um sistema de irrigação exige o levantamento das condições da propriedade ou da área a ser irrigada, sendo que a falta de informações ou a caracterização incorreta de determinadas variáveis de análise de dimensionamento podem levar ao insucesso dos cultivos irrigados, com sérios prejuízos ao produtor e ao ambiente.

Assim, a escolha de um sistema de irrigação demanda conhecimento aprofundado sobre as características de cada método de irrigação em função de diferentes condições de solo, água, clima, cultura, impactos, operação e manejo (Daka 2001, Faria et al., 2002, Testezlaf 2011). Assim, a tese analisa a irrigação com potes de argila, suas funcionalidades, e identifica indicadores de sustentabilidade sociais, econômicos, ambientais e técnicos e a partir das experiências implementadas no Norte do Brasil. Além disso, foi possível mapear o conhecimento e, apresentar suas vantagens sócio-econômicas, podendo viabilizar a realização de ensaios experimentais para potencializar as condições necessárias de replicabilidade da tecnologia em diferentes contextos como suporte a agricultura familiar no Brasil e em Moçambique.

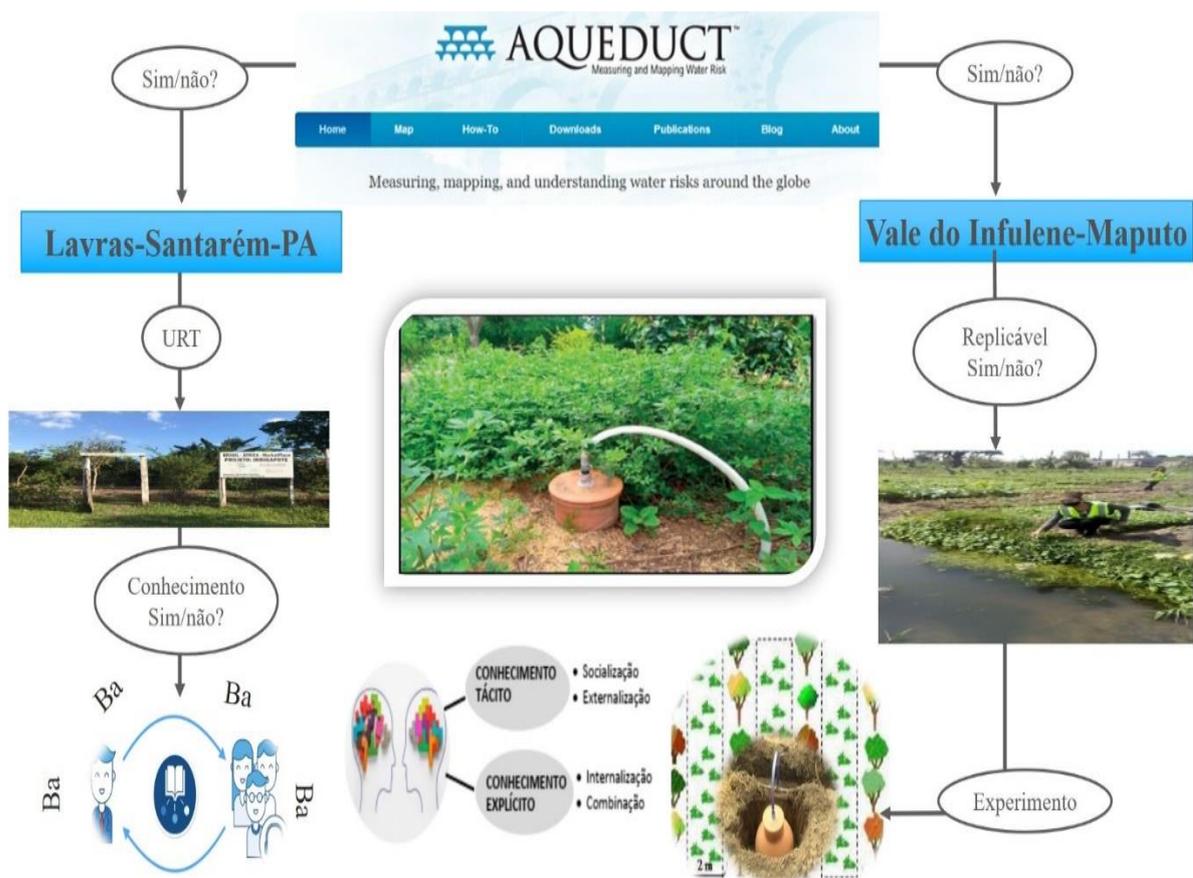
#### **4.2 Diagrama estrutural da tese**

Inicialmente, fez-se o estudo pormenorizado sobre os indicadores de risco em bacias hidrográficas no Brasil e Moçambique e a caracterização das condições agroecológicas para aferir os condicionantes sobre a oferta hídrica na atividade agrícola. E em seguida fez-se a socialização da tecnologia de irrigação com potes de argila na comunidade de Lavras no Pará por ser a unidade de referência tecnológica em irrigação sustentável a base de potes de argila. Nesta comunidade, foram realizadas dinâmicas em campo com o objetivo de monitorar os contornos da tecnologia do projeto IrrigaPote e mapear o conhecimento gerado aplicando a

lógica da teoria do espaço Ba, as fontes de conhecimento e a análise dos pontos internos e externos relacionados ao posicionamento da tecnologia face ao mercado. Através dessa experiência exitosa, conduziu-se uma análise para perceber o potencial de replicabilidade em outros contextos como o de Moçambique.

Assim, em Moçambique averiguou-se o perfil social dos produtores da região do Vale do Infulene no Sul da provincia de Maputo e as suas estratégias usadas na reutilização da água de acordo com a realidade moçambicana, com finalidade de fomentar o uso da tecnologia de irrigação por potes de argila na agricultura de base familiar como uma alternativa na gestão da água na agricultura irrigada. Para além disto, fez-se também um ensaio experimental didático para verificar estratégias de adaptação da tecnologia de irrigação com potes argila no contexto moçambicano. Na figura 13 é demonstrado o diagrama estrutural da tese no contexto dos dois países.

**Figura 13** Diagrama estrutural da tese



Fonte: Autoria própria (2023)

### 4.3. Modelo conceitual da pesquisa

O modelo conceitual da pesquisa é apresentado por variáveis e elementos que apoiam, interagem e compõe o circuito de atividades geradas em torno da gestão hídrica no Brasil e em Moçambique, visando definir elementos estruturais que contribuem para a sustentabilidade da irrigação na agricultura.

O principal tripé conjugado nesta tese são: a Comunidade, o Conhecimento, e a Tecnologia Social. Esses elementos interagem mutuamente e produzem conhecimento fluído que tem sido difundido em diferentes canais e fontes de informação, criando espaços de debates, publicações científicas e aquele que é internalizado na mente das pessoas. Por isso, a partir desses elementos do modelo conceitual, foram extraídas variáveis e ferramentas que possibilitaram identificar os atores que gerenciam a água em bacias hidrográficas, mapear o conhecimento gerado, as mudanças socioeconômicas na irrigação com potes de argila e variáveis que potencializam a sua replicabilidade.

**Tecnologia social:** é entendida como a manifestação do conhecimento, que pode ser um processo, método, técnica, produto ou mesmo um artefato, desenvolvido pelo meio acadêmico, pelo estado ou proveniente do saber popular (Rezende, 2003). Já o conceito social empregue a tecnologia refere-se ao conjunto de técnicas, metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para a inclusão social e melhoria das condições de vida (Duque e Valadão, 2017).

As tecnologias sociais são agrupadas em três categorias: princípios, parâmetros e implicações. Os princípios ressaltam a importância da aprendizagem e participação como processos que caminham juntos e que a transformação social requer a compreensão da realidade de maneira sistêmica e o respeito às identidades locais. A preocupação com processo de produção da tecnologia social, embora não prescindida de aspectos gerenciais, volta-se prioritariamente para a emancipação dos atores envolvidos, tendo no centro os próprios produtores e usuários dessas tecnologias (Rezende, 2003).

A tecnologia social da tese enfatiza a importância de um sistema de irrigação com potes de argila que faz o reúso pluvial, desenvolvido para produtores de base familiar. A tecnologia não só permite o beneficiar aos próprios produtores, como é desigando eficaz na adoção de modelos de plantio sustentáveis. Sendo que permite o reúso de 99% da água pluvial, e facilita no enfrentamento do período de estiagem garantindo rendimentos ótimos e comercialização *in natura* no campo. Junto a essa tecnologia social, mais ferramentas

computacionais foram utilizadas para alcançar os resultados da pesquisa sendo elas, o *Aqueduct water risk* que apontou indicadores de risco hídrico nas bacias hidrográficas analisadas e fez prognóstico futuro. E as ferramentas computacionais usadas foram o SAS e o SPSS que possibilitou a análise e interpretação dos dados primários em campo.

**Comunidade:** é o principal elemento nesta pesquisa, uma vez que por via dela permitiu-se identificar o problema analisado, e perante a isso foi direcionada a proposta de solução e aplicação do modelo enfatizado na tese. A tecnologia de irrigação apresentada precisa garantir que seja apropriada pela comunidade, gerando mudanças de comportamentos, atitudes e práticas que proporcionem transformações sociais. Espera-se que o uso da irrigação com potes de argila passe a representar uma solução gradativa de transformação social sobre a gestão hídrica na agricultura. Neste segmento, referimo-nos especificamente aos pequenos produtores, os consumidores, os *stakeholders*, os atores do espaço Ba e os usuários da tecnologia. E de maneira efetiva, espera-se que a comunidade seja protagonista e não mera receptora da tecnologia salvaguardando o potencial de reaplicação em outros contextos que estejam vulneráveis ao mesmo problema.

**Conhecimento:** é socialmente construído e, dependente de fatores valorativos de natureza econômica, social, política e cultural. A ideia de múltiplas direções na produção de conhecimentos decorre da diversidade dos contextos e dos atores com diferentes valores e interesses. Essa visão enseja a ideia de participação ativa das pessoas, grupos e comunidades afetados pela tecnologia. Segundo Rezende (2003) representar um conhecimento pode ser entendido como uma forma sistemática de estruturar e codificar o que se sabe sobre determinado assunto. Para a representação do conhecimento, a pesquisa identificou os tipos de conhecimento gerados ao longo, durante e após a implantação do sistema de irrigação com potes de argila até alcançar uma síntese coletiva de conhecimento (Faccin, 2016). Depois disso, conseguir capitalizar o conhecimento tácito e explícito e meios e identificação desses espaços existentes para a consolidação de ensaios técnicos em contextos diferenciados.

O modelo proposto na tese é apresentado na Figura 14 e reúne variáveis identificadas na revisão de literatura por Hespanhol (2002), Dalkir (2005), Neto et al. (2008), Nonaka et al. (2008) e WRI (2013), Martorano (2020) em que sintetizou-se o tripe que agrega todas variáveis norteadoras: *demográficas, sociais, econômicas e ambientais*.

**Figura 14** Diagrama conceitual da tese



Fonte: A autoria própria (2023)

#### 4.4. Visão da pesquisa

A tese notabiliza-se por trazer reflexões sobre o uso da água para fins de irrigação na agricultura de base familiar, tendo gerado indicadores para consolidar o uso eficiente nas condições climáticas da Amazônia Oriental e na África Austral. A partir de ferramentas de diagnóstico apontam-se indicadores de riscos em bacias hidrográficas, sendo estes indicadores de natureza qualitativa e quantitativa, regulatórios e de reputação para sinalizar se existem diferenças entre unidades produtivas de Santarém e em Maputo, e com similaridades quanto aos indicadores.

Todavia, verificou-se a necessidade de medidas apropriadas para o gerenciamento das bacias hidrográficas que abastecem os polos de produção agrícola nas duas regiões estudadas. A partir disso, fez-se avaliação dos componentes do balanço hídrico climático em Santarém no Oeste do Pará e em Maputo no sul de Moçambique, considerando a importância de conhecer as mudanças climáticas para melhorar os mecanismos de adaptação na agricultura.

A partir de normais climatológicas, obteve-se dados da temperatura do ar e a precipitação entre 1982 a 2022 para Santarém e Maputo. Estas análises possibilitaram contabilizar a entrada e a saída de água mensal, determinando a disponibilidade de água existente para o plantio e as épocas de maior entrada pluviométrica. É necessário considerá-las

como modelos de planejamento hídrico nos cultivos agrícolas que priorizem a reposição hídrica em épocas de menor oferta.

Nesse sentido, o enfoque no reúso pluvial e tecnologias sociais de irrigação foi destacado na tese como crucial para um melhor aproveitamento da precipitação, pela experiência de êxito na comunidade de Lavras onde adotou-se um sistema de irrigação com potes de argila que faz o aproveitamento da água da chuva. Assim, analisar a repercussão da tecnologia, fez-se a aplicação da teoria do espaço Ba para capitalizar o conhecimento existente em torno da tecnologia de irrigação por potes de argila no Pará, por apresentar resultados com potencial de expansão pelas diferentes regiões do Brasil, como foi com os produtores na unidade de referência tecnológica (URT).

Por isso, nesta pesquisa foi replicado o modelo de irrigação em Maputo através de um ensaio técnico-didático, que apontou para a racionalização do consumo hídrico pelas plantas, podendo ser estratégico para solucionar as vicissitudes da época de estiagem na agricultura de base familiar em Moçambique. Este método de irrigação por superfície foi considerado ser de fácil implementação e manuseio tanto para o contexto brasileiro tanto como para o moçambicano, no qual apresenta vantagens econômicas e pode apropriar aos seus usuários, uma base sólida de conhecimentos genuínos em práticas sustentáveis.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa onde se faz a validação das variáveis usadas no estudo e a identificação dos indicadores de riscos em bacias hidrográficas de Santarém e em Maputo. Tendo sido feita a previsão dos riscos e foram descritos os resultados da contabilização dos estoques de água no solo para classificação do período de maior e menor ofertas pluviais para o estudo das condições climáticas regionais e averiguação de reposição hídrica por sistemas de irrigação sustentáveis. E assim, os resultados da pesquisa possibilitaram a validação da tecnologia de irrigação por potes de argila como um modelo circular de geração de conhecimento, e mudanças na vida do produtor e tendo sido replicável em diferentes contextos para a agricultura de base familiar.

### 5.1 Validação das variáveis usadas através do teste de confiabilidade do questionário

Na análise da confiabilidade do questionário, todos os resultados obtidos estiveram dentro do intervalo aceitável de 0,70 a 0,99, indicando o potencial de uso dos questionários na análise de percepções. Vale especificar que 87,2 % referem-se aos indicadores quantitativos, 78,7% aos indicadores qualitativos, 80,6% apontam os indicadores econômicos, 81,6 % os sociais e, 84% para indicadores ambientais. Todos os valores percebidos sobre os indicadores foram analisados em nível de significância de 5%.

Segundo Manzato e Santos (2012) o Cronbach alfa fornece um coeficiente numérico de confiabilidade. Normalmente este coeficiente alfa varia em valores de 0 a 1 e pode ser usado para descrever a confiabilidade de fatores extraídos de dicotômicos (ou seja, perguntas com duas respostas possíveis) e/ou questionários formatados de vários pontos ou escalas (escala de classificação: 1 = baixo, 5 = excelente). Pesquisas realizadas por Hussey et al., (2023) e Sen e Ghosh (2023) e Uyanah e Nsikhe (2023) tem mostrado a importância do pré-teste na consolidação das variáveis usadas em pesquisas para mensurar percepções sobre fenômenos sociais. No que tange as percepções dos produtores sobre a caracterização da água utilizada na irrigação em Maputo, verificou-se que o coeficiente de confiabilidade Cronbach alfa foi de 83,7% ilustradas na Tabela 3.

**Tabela 3** Resultados do teste piloto para aferir a veracidade do questionário

Categorias	Cronbach's alpha	Nro de itens	Nível aceitavel (0.7-0.99)
Quantitativo	0.87	5	Sim
Qualitativo	0.78	5	Sim
Ecônomicos	0.80	4	Sim
Ambiental	0.84	3	Sim
Sociais	0.81	3	Sim
Total	0.837	20	Sim

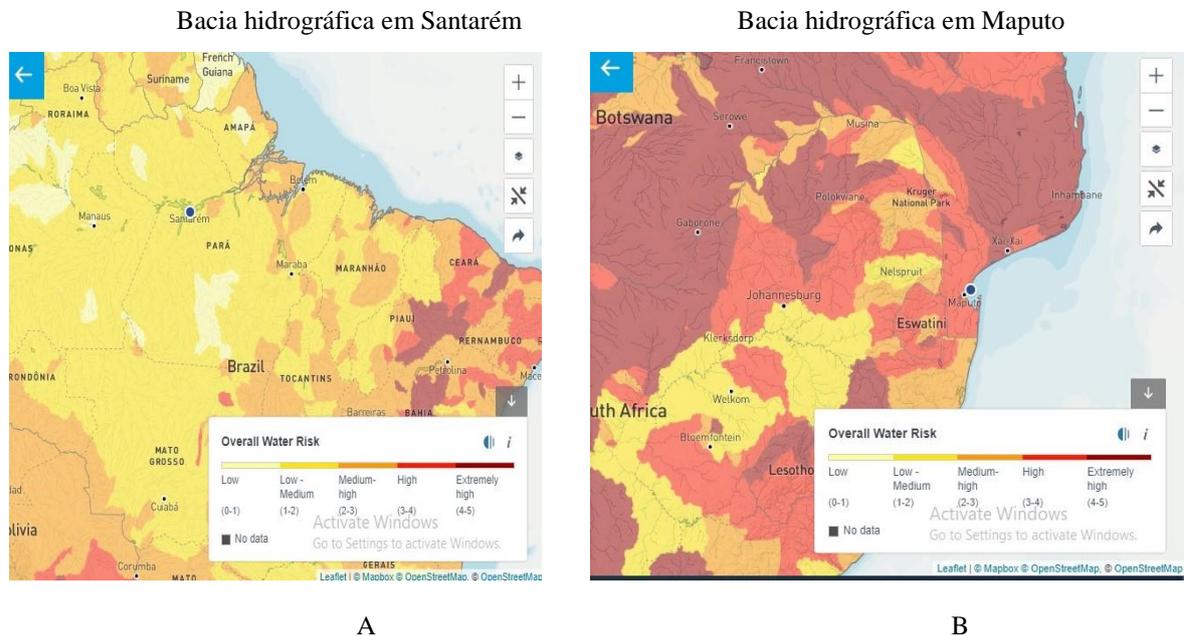
\*Variáveis extraídas de Hespanhol (2002), Neto et al. (2008),Souza et al. (2013) Martorano (2020)

Fonte: Autoria própria (2023)

## 5.2 Panorama situacional dos riscos nas bacias hidrográficas de Santarém e do Vale do Infulene em Maputo

A bacia hidrográfica que abastece Santarém apresenta um risco baixo médio enquanto que a bacia hidrográfica de Maputo apresenta risco alto Figuras 15A e 15B, indicando a existência de uma maior exposição dos recursos hídricos e a possibilidade de constrangimentos futuros em Maputo caso não haja uma política restritiva, conservacionista e sustentável. Considerando o resultados constatados nos estudos realizado por Carlos e Martorano (2019, 2022) mostraram um alto potencial desta ferramenta por usar dados secundários revisados por pares podendo ilustrar e tornar público as condições das bacias hidrográficas mundiais e conscientizar sobre o monitoramento dos recursos hídricos caso não haja uma intervenção mais acautelada sobre o seu uso corroborando com os resultados da tese. Contudo, enfatiza-se que o WRI (2013) tem sido eficaz na divulgação de dados sobre as bacias hidrográficas, uso consutivo dos recursos hídrico para o sector da agricultura. Embora estudos como de Thode e Cunha (2015) tem chamando a atenção para a limitação do uso de ferramentas desenvolvidas internacionalmente, por não apresentarem informações mais detalhadas acerca do território nacional, principalmente se tratando de bacias hidrográficas de menores proporções.

**Figura 15** Riscos gerais que afetam às bacias hidrográficas de Santarém e Maputo

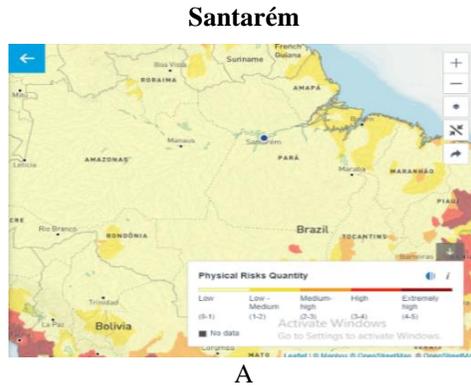


Fonte: Autoria própria (2023)

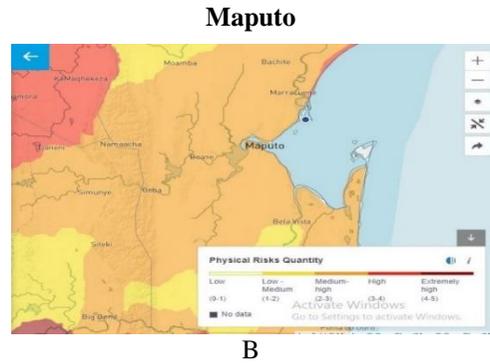
Após a identificação dos riscos de forma generalizada, procedeu-se à categorização dos riscos, conforme a classificação do WRI (2013), os riscos físicos quantitativos são analisados através dos seus respectivos indicadores, nomeadamente *stress hídrico*, *depleção na linha de base*, *variação interanual*, *variabilidade sazonal* e *declínio do lençol freático*, *risco de inundação ribeirinha*, *risco de inundação costeira* e *risco de seca*. Os indicadores dos riscos físicos quantitativos foram identificados na Figura 16 e 17.

**Figura 16** Mapas ilustrando os riscos quantitativos em Santarém e em Maputo nas categorias: Gerais (A e B); Stress hídrico (C e D); Depleção da água na linha de base (E e F); Variação interanual (G e H); Variabilidade sazonal (I e J); Declínio do lençol freático (K e L)

Riscos físicos quantitativos

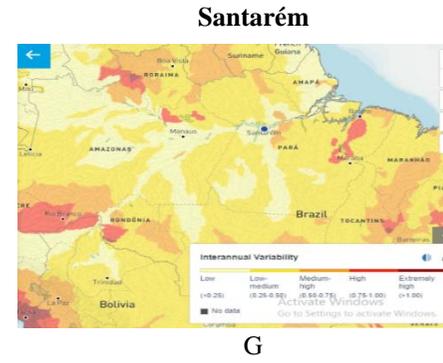


A

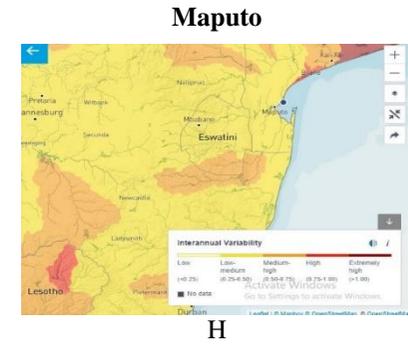


B

Variação interanual

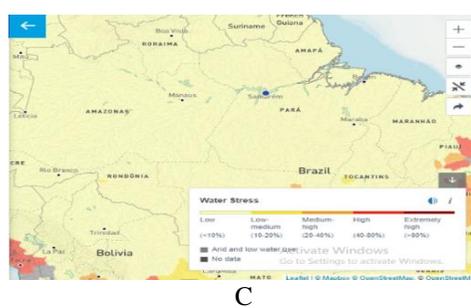


G

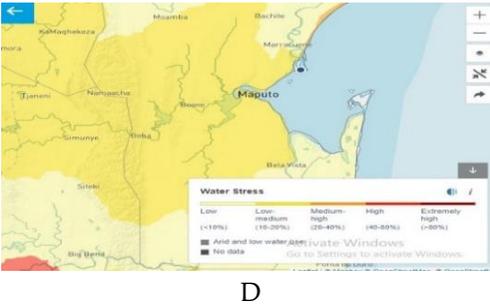


H

Stress hídrico

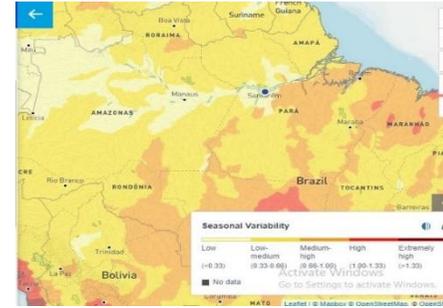


C

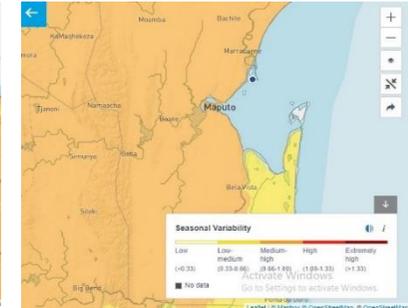


D

Variabilidade sazonal

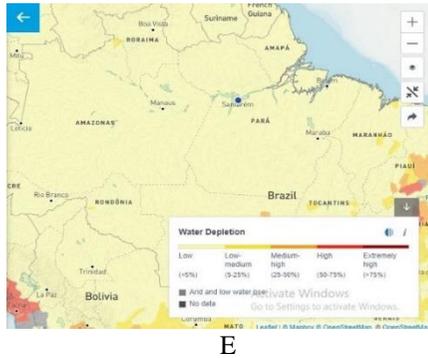


I

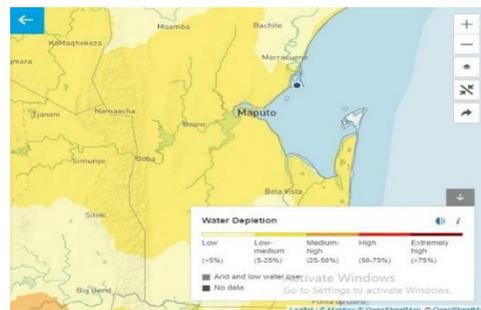


J

Depleção da água na linha de base



E

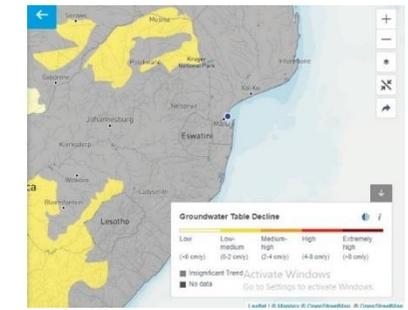


F

Declínio do lençol freático



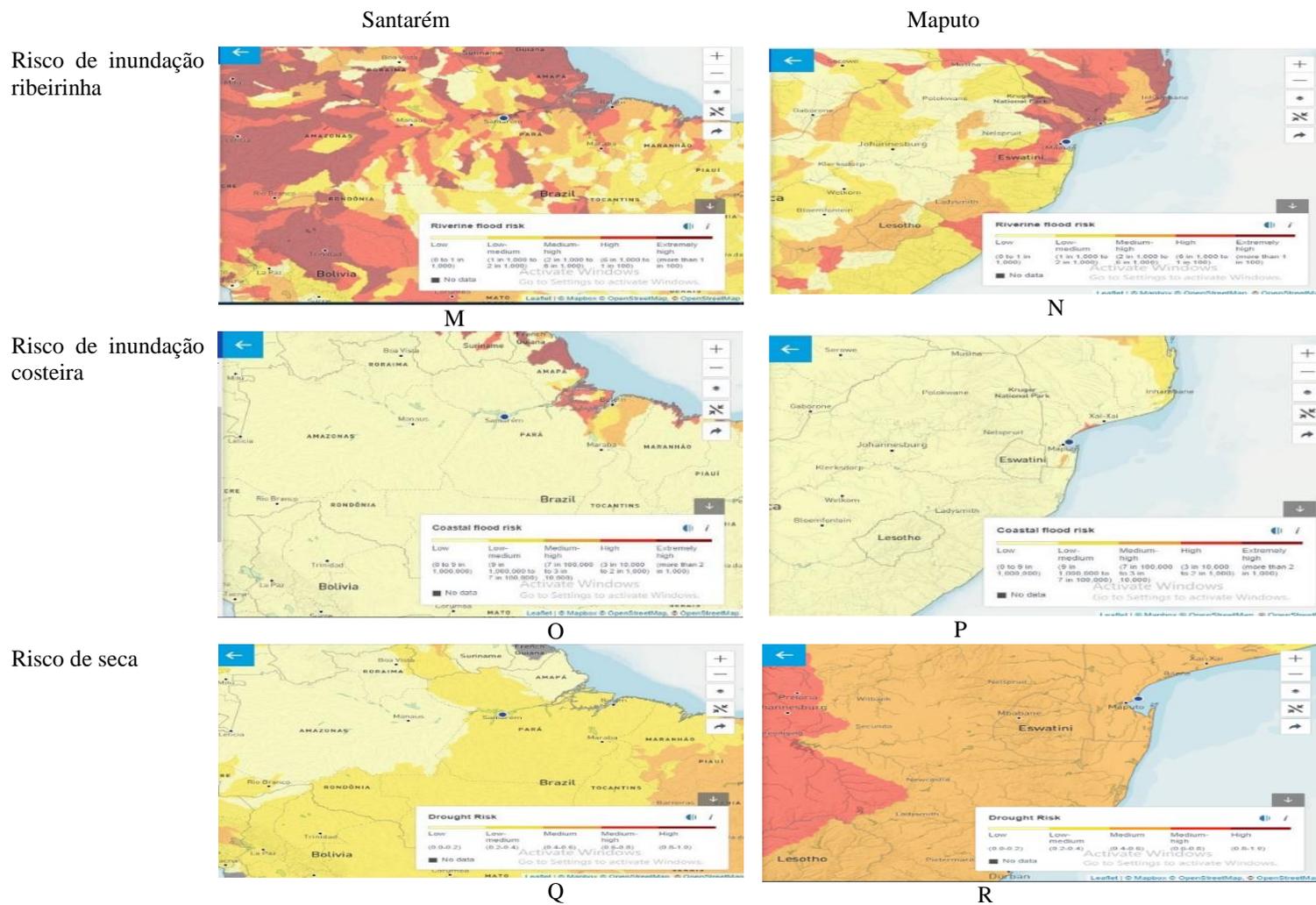
K



L

Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 17** Mapas ilustrando os riscos quantitativos em Santarém e em Maputo nas categorias (Cont.): Risco de inundação ribeirinha (M e N); Risco de inundação costeira (O e P)



Fonte: Autoria própria (2023)

Em Santarém, o risco físico é consideravelmente baixo, (Figura 16 A), o que indica um alívio no que concerne a disponibilidade de água pelo menos nos próximos 10 anos. O ponto situacional dos riscos quantitativos em Maputo difere de Santarém, foi identificado como risco médio-alto (Figuras 16 B), sendo que os indicadores mostram que existe uma maior exposição ao risco hídrico decorrente das atividades agrícolas. As Figuras 16 C e 16 D apresentam a mesma tendência em nível do estresse hídrico e depleção da linha de base. Estes resultados indicam a disponibilidade hídrica para atividades agrícolas; contudo, ainda assim torna-se necessário garantir a manutenção e uso racional atual e futuro. Os indicadores stress hídrico e depleção da linha de base (Figuras 16 D e F) o risco é classificado como baixo médio tanto para as condições de Santarém como para Maputo.

A variação interanual (Figuras 16 G e H) tem demonstrado um comportamento estável, indicando que a mudança anual no nível das águas nas bacias hidrográficas tem sido de média a baixa tanto no contexto de Santarém como em Maputo. Todavia, alterando a variação de anual para sazonal (Figuras 16 I e J), os riscos se agravam nas condições de Maputo, indicando maior sensibilidade risco-médio alto. Enquanto que em Santarém, mesmo com as alterações sazonais, o risco ainda é consideravelmente baixo.

O mesmo comportamento foi apresentado quanto ao declínio do lençol freático em que nas condições de Santarém e em Maputo (Figura 16 K e L), não apresentou tendência significativa de risco. Vale ressaltar que valores baixos desse indicador indica que as zonas em estudo não estão em condições de vulnerabilidade face ao declínio do lençol freático. Indicando assim, que não há risco de implicações diretas desse efeito do declínio, no adensamento do terreno. A consequência gerada pelo elevado risco deste indicador tem levado a incapacidade de sustentação do solo, a perda de vegetação no local e o afundamento em áreas de construção.

O risco de inundação ribeirinha (Figuras 17 M e N) é alto tanto nas condições de Santarém como em Maputo, evidenciando a possibilidade de enchentes na época chuvosa e a necessidade de monitoramento frequentes no caudal dos rios. O mesmo comportamento já não se verificou quanto risco de inundação costeira (Figuras 17 O e P) que é baixo em Santarém, assim como em Moçambique, o que possibilita a minimização dos efeitos da ação das correntes e das ondas em situações sinópticas mais adversas (tempestades). Este resultado contraria a pesquisa de Silva (2021) que evidenciou que nas regiões costeiras são as áreas mais afetadas pelas mudanças climáticas, e, portanto, as mais vulneráveis, levando em consideração a intensidade de extremos climáticos e a grande concentração humana. Mas, por outro lado, pode-se confirmar que existe uma forte pressão antrópica nas zonas costeiras uma vez que as populações optam por estabelecer moradias junto as áreas ribeirinhas sobretudo na zona

metropolitana de Maputo. No entanto, não só a população em geral é afetada por estes episódios; o crescimento e o desenvolvimento urbano e, mais recentemente a internacionalização do turismo, intensificam a construção de infraestruturas muito próximas da linha de costeira, estando sujeitas a sofrerem danos ambientais.

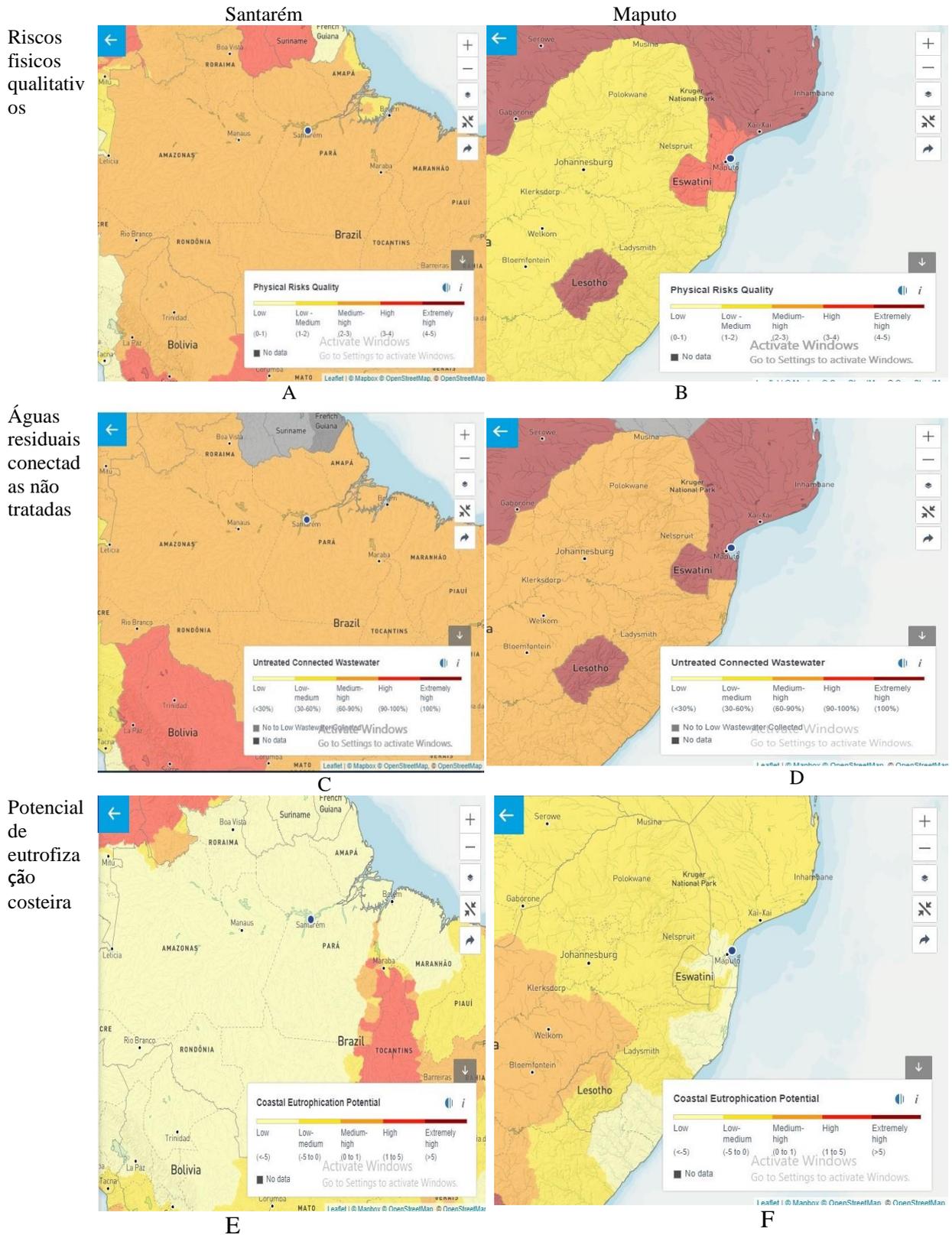
O risco de seca em Santarém é médio baixo e em Moçambique é médio alto (Figuras 17 Q e R). Considerando que a agricultura familiar não irrigada praticada por 75% da população moçambicana é praticada em condições de sequeiro (INE, 2021), o risco de seca pode se manifestar através da redução excessiva ou déficit de precipitação, humidade do solo e índice de vigor vegetativo, aumentando também o risco de vulnerabilidade e a necessidade do desenvolvimento de capacidades técnicas locais para apoiar a agricultura familiar. Essas informações são importantes para o reforço das atividades de adaptação e resiliência nas práticas locais.

Os resultados encontrados na tese são confirmados por pesquisas como de Cararo e Zuffo (2021) que enfatizam que o risco que assola quantitativamente a sustentabilidade dos recursos hídricos de múltiplos usos depende de um manejo eficiente da água, baseado em monitoramento e em controle quantitativo e qualitativo. Isso poderá ser efetivado pela gestão adequada nas diferentes bacias hidrográficas. No entanto, pesquisas como a de Carlos; Martorano (2022a) apontam a importância de apontar os indicadores de risco relativos as bacias (fonte de captação de água) que estimulam a adoção de medidas estratégicas quanto ao uso criterioso e responsável, conforme a legislação ambiental nos países.

Caldana et al. (2018) reforça que a grande variação regional na precipitação média anual, sazonal e mensal na precipitação. Os impactos de eventos extremos de precipitação na bacia são perceptíveis por meio de alagamentos, enxurradas e inundações. A vulnerabilidade e os riscos dos desastres naturais causados no espaço urbano e rural são alarmantes e devem auxiliar no planejamento e na tomada de decisão nas bacias hidrográficas.

Os riscos qualitativos associados às bacias hidrográficas foram analisados tanto em Santarém como em Maputo, em termos gerais os resultados mostram que os riscos qualitativos em Santarém se encontram na faixa média, enquanto que no vale do Infulene esta categoria de riscos é alta, conforme se pode ver nas Figuras 18 A e B.

Figura 18 Mapas ilustrando os riscos qualitativos



Fonte: Autoria própria (2023)

Os indicadores de qualidade analisados que compuseram os riscos qualitativos foram: *águas residuais conectadas não tratadas e potencial de eutrofização*. Para Santarém, o risco associado às águas residuais não tratadas foi médio alto e, para as condições de Maputo, o risco foi extremamente alto (Figuras 18 C e D). O potencial de eutrofização costeira é baixo tanto para as condições de Santarém como para Maputo (Figuras 18 E e F). Estudos realizados por Carvalho; Carvalho, Enyedja Kerlly Martins de Araújo; et al. (2013) no norte do Brasil em bacias hidrográficas têm mostrado que com efeito dos eventos climatológicos extremos, espera-se maior nível de deteriorização da qualidade da água em todas as três dimensões (física, química e microbiológica), sendo a presente análise facilmente utilizada como uma medida de referência básica da vulnerabilidade ou risco de contaminação futuras na bacia.

Já em Moçambique os resultados da tese sobre os riscos qualitativos foram validados por SITO E et al. (2019) que constatou diferenças significativas na qualidade da água porque o rio Mulauze recebe efluentes de várias origens de entre elas se destaca a Estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Maputo também conhecida por ETAR de Infulene, e do Estádio Nacional de Zimpeto, a indústria de Cervejas de Moçambique (CDM), e de actividades agrícolas. Estes efluentes, à jusante do ponto de emissão no rio Mulahuze, apresentam um aspecto turvo e cheiro desagradável o que sugere a potencial contaminação por diversos factores físicos, químicos e biológicos, directamente relacionados com a ETAR e de outras actividades que se realizam ao longo do Vale do Infulene.

No Brasil, bem como na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte do esgoto bruto (tanto doméstico, industrial como efluentes de sistema de cultivo) é lançado sem tratamento prévio nos cursos de água (Braga et al., 1998; Braga et al., 2005). Esses grandes aportes de matéria orgânica e poluentes têm sido relatados como principais responsáveis pela eutrofização de grande variedade de ambientes aquáticos, gerando preocupação crescente com alto grau de poluição em que se encontram os rios e os ambientes de água doce (Tundisi e Tundisi, 2014).

Essas ações antrópicas podem afetar a qualidade do ambiente para os organismos aquáticos ou mesmo para a saúde humana, por meio da ingestão de águas contaminadas. As últimas décadas foram marcadas pela crescente preocupação com o efeito das atividades humanas sobre o meio ambiente. Daí a importância da inclusão de modelos predictivos de riscos para melhorar o planejamento do uso da água por sectores de atividade.

Os riscos regulatórios e reputacionais foram a terceira categoria de riscos analisados, e foram compostos pelos seguintes indicadores de riscos: *água imprópria para consumo (ou capacidade de potabilidade)*, *condições de saneamento*, e *índice de risco ambiental, social e governamental* para mensurar a sustentabilidade e os impactos positivos na atividade. Foi notório que, os riscos foram extremamente altos em todas as subcategorias de riscos regulatórios e reputacionais analisados tanto para Santarém como para Maputo. Esta alta exposição evidência o risco de uma aparente contaminação das bacias hidrográficas podendo interferir na potabilidade da água.

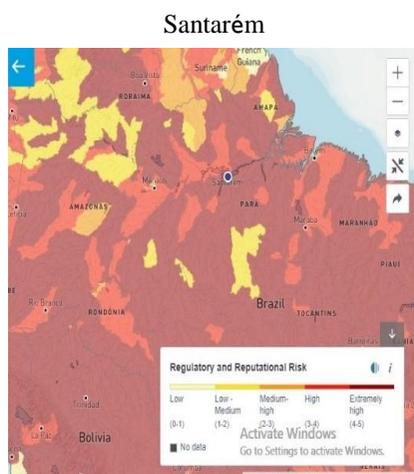
A falta de infraestruturas de saneamento gera limitações que acabam se refletindo no elevado índice de risco ambiental, social e governamental, sendo elas métricas importantes para mensurar a sustentabilidade ambiental e prever o impacto negativo no uso da água para fins de irrigação (Figuras 19 A a H). Estes resultados corroboram com Carlos e Martorano (2022) que intificaram que no Sul de Mocambique, especificamente nos distritos de Boane, Moamba e Namaacha, as empresas, os investidores, e o poder público e privado, e demais usuários devem se acautelar sobre a forma como têm feito o gerenciamento das bacias hidrográficas nos rios Umbelúzi e Incomáti, onde a faixa de risco geral qualitativo, quantitativo e reputacional é alta.

SITOE et al. (2019) também afirma que os efluentes resultantes de estações convencionais de tratamento de esgotos, ao exemplo da ETAR de Maputo, muitas vezes contêm contaminantes com concentrações acima dos níveis permitidos por lei, neste caso o Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho, actualizado e rectificado pelo Decreto nº 67/2010 de 31 de Dezembro, que preceitua os padrões de qualidade ambiental e emissão de efluentes.

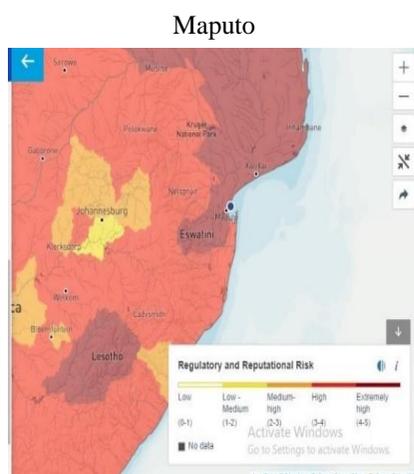
Na Amazônia uma vez que historicamente a maioria das cidades surgiu às margens dos rios, daí se revela o importante papel dos ecossistemas aquáticos (Gouveia et al.,2019). Esses resultados altos em termos de indicadores de riscos regulatórios e reputacionais, revelam que as ações humanas têm prejudicado aos ecossistemas amazônicos, como o processo de urbanização conforme ressaltou Vieira e Panagopoulos (2020) em sua pesquisa sobre as florestas urbanas na Amazônia, revelando também um o crescimento urbano desordenado, sendo necessária a criação de cidades ambientalmente qualificadas, onde o homem e o meio ambiente estejam em harmonia (Abreu , 2015) principalmente no que diz respeito a minimização dos riscos referentes as bacias hidrográficas.

Figura 19 Mapas ilustrando os riscos regulatórios e reputacionais

Riscos regulatórios e reputacionais

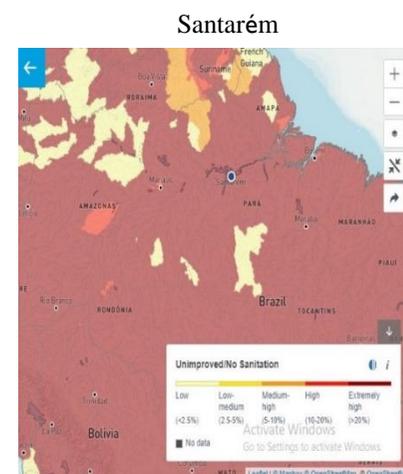


A

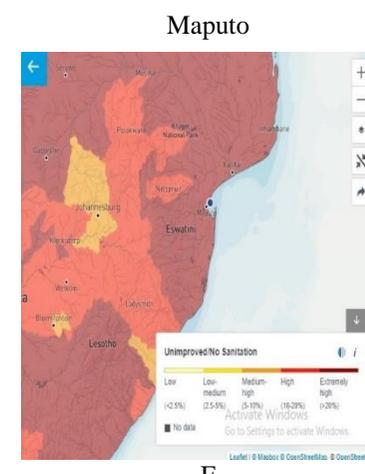


B

Sem saneamento

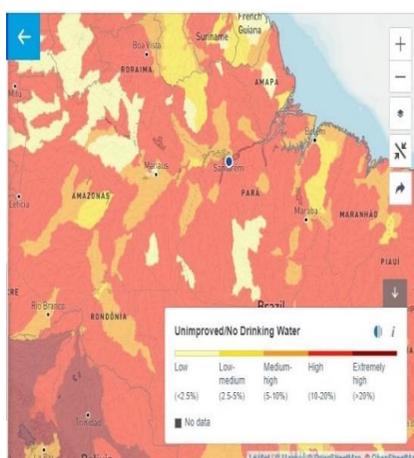


E

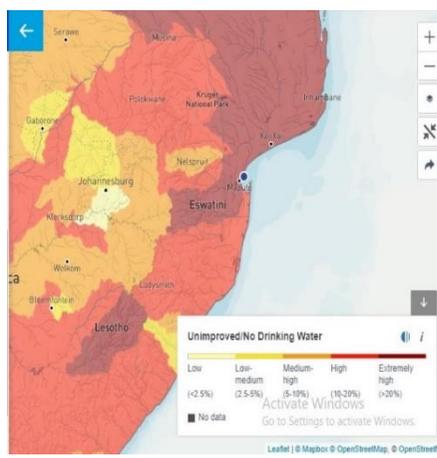


F

Água imprópria para o consumo/baixa potabilidade

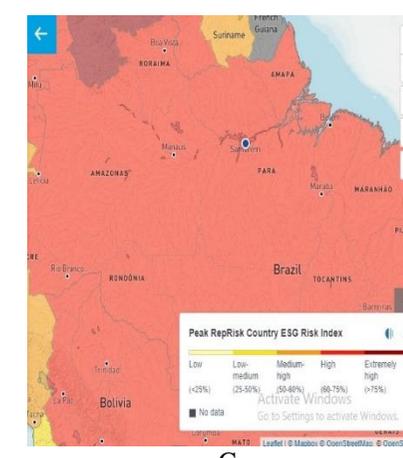


C

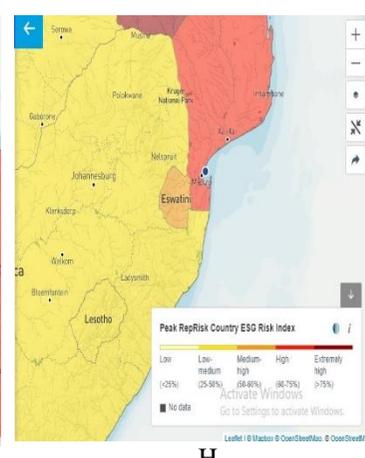


D

Index ris



G

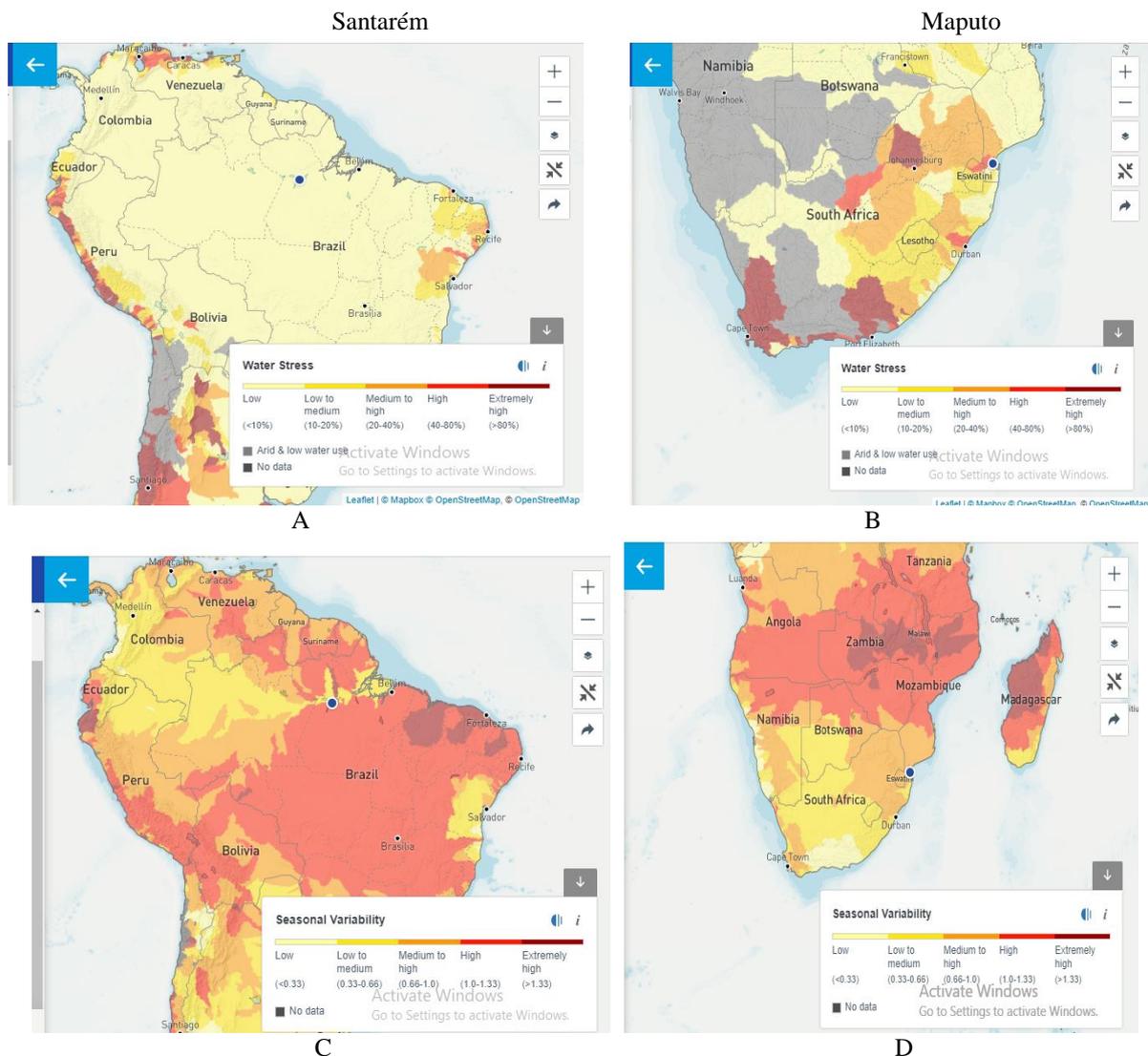


H

Autoria própria (2023)

Foram também simuladas previsões de aumento de temperatura para perceber a condição de risco que poderá assolar as bacias hidrográficas em cenários de aumento térmico de 1,0°C a 2,6°C até 2040. As previsões mostraram que se a temperatura aumenta, os indicadores de estresse hídrico em Santarém se encontrarão na faixa de risco baixa. Já em Maputo, esse aumento de temperatura pode causar agravamento da condição de escassez hídrica. Contudo, em relação a variabilidade sazonal, tanto para Santarém como para Maputo, as previsões apontam que os riscos são extremamente altos, evidenciando que sob a condição sazonal, existe uma tendência de redução da oferta pluvial, sendo diferenciadas esses indicadores nas simulações ilustradas nas Figuras 20 A, B, C e D.

**Figura 20** Projeções do aumento de temperatura e seus efeitos no stress hídrico e vulnerabilidade sazonal



Fonte: Autoria própria (2023)

Esta previsão de aumento do stress hídrico é confirmada por Borgomeo e Santos (2019) que afirmaram que as mudanças climáticas irão agravar os desafios em torno dos recursos hídricos existentes. Entre os impactos projetados estão as temperaturas mais elevadas, que alteram os padrões de evaporação, evapotranspiração e aumentam a demanda hídrica nos cultivos agrícolas. Os autores evidenciaram ainda que os impactos serão altos em todo mundo se o aumento de 2°C ocorrer e com a descarga de água anual, que já é criticamente baixa, sendo projetada para cair entre 15% a 45% e até 75% se estivermos diante de um cenário de aumento de 4°C. As projeções de calor podem afetar cerca de um terço da área de terra com consequências severas na produção de alimentos e mudanças nos aquíferos. Segundo pesquisas de Brito et al. (2020) com base em modelos regionais para a Amazônia; e que são corroborados por dados observacionais apontam para um incremento de 9% da recarga dos aquíferos até o final dos anos 2040, a mancha de uso de exportação de uso do Aquífero Alter do Chão no Pará, expandiu-se até os limites da expansão urbana projetada por Souza (2012) e acentua-se o rebaixamento do nível da água subterrânea, já existente. Para todos os cenários, as zonas leste, centro, norte e noroeste, foram as que demonstraram continuidade das manchas de rebaixamento, mesmo sob condições de alta recarga.

### **5.3 Padrões climáticos e avaliação de desempenho hidrológico em Santarém na Amazônia Oriental e em Maputo na África Austral**

Observa-se na Figura 21 que as temperaturas de superfície em Santarém atingem o seu máximo entre setembro a novembro, podendo ser esse o período em que a pluviosidade diminui. Portanto, Santarém registra o menor regime de precipitação nos meses de agosto e setembro, justamente no momento em que existe uma tendência de mudança no comportamento da temperatura que se mantém estável entre fevereiro a julho. Os dados do ECMWF apresentados por Moraes et al. (2018) tendem a mostrar aumento da Precipitação (P) no período menos chuvoso e menor no período chuvoso, mas isso acontece apenas em comparação as estações de superfície. A Temperatura (T) do ar também segue a mesma variação, com maiores T de superfície em comparação com ECMWF entre janeiro a junho e menores entre agosto e outubro.

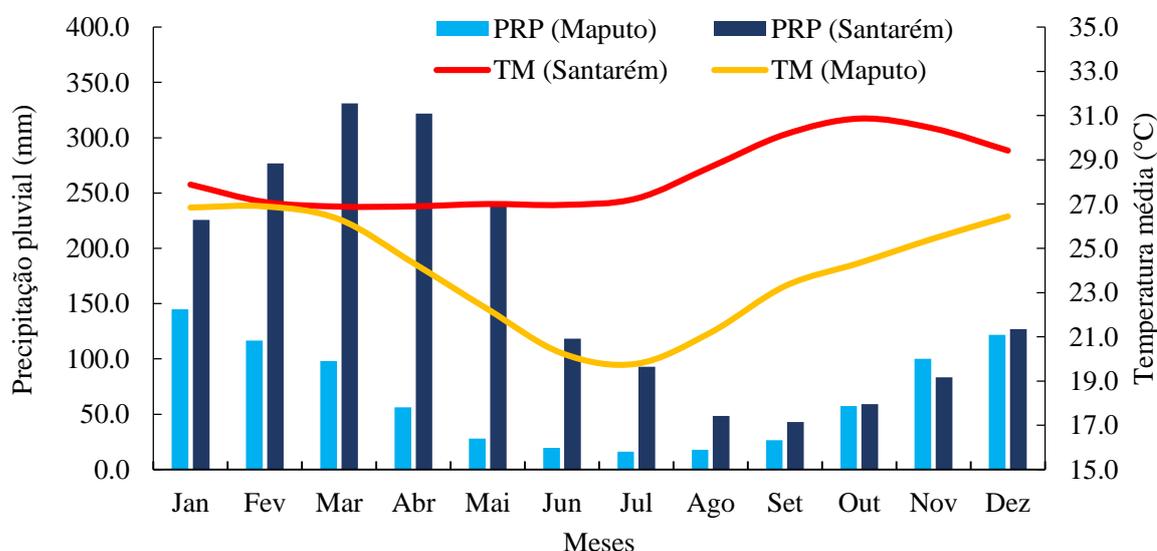
Contudo, existem meses em que a temperatura se mantém estável, porém a região apresenta maior pluviosidade atingindo registros de chuvas superiores a 300 mm. Esses resultados são reforçados com Santos et al. (2017) e Silva et al. (2017), que apontaram que valores estimados com maior precisão ocorrem na região Nordeste da Amazônia Brasileira, onde existe uma história de antropização com mais de 300 anos, e registros de produção de óleo

de palma de mais 20 anos. Segundo Carlos e Martorano (2019) a previsão dos riscos em Santarém são mais sensíveis quando se analisa na condição de variabilidade sazonal e não na resolução anual no entanto, pela sua localização, enquadra-se na condição de médio-alto risco. a amplitude de variação da umidade do ar varia entre 50% a valores próximos a 90%.

Já em Maputo, o comportamento da temperatura média é oscilatório apresentando temperaturas mais elevadas entre janeiro a março, sendo que de junho a julho aqueles que apresentam as temperaturas mais baixas dos restantes meses do ano, definindo melhor a estação do ano mais fria, com uma baixa precipitação. Os resultados obtidos corroboram com Carlos e Martorano (2019) que apontaram o risco de stress hídrico médio-alto nas bacias hidrográficas que abastecem os polos de produção da Província de Maputo, reafirmando a necessidade de adoção de medidas estratégicas e responsáveis sobre a legislação dos recursos hídricos no país. Moçambique caracteriza-se por apresentar uma situação de vulnerabilidade hídrica em virtude de dois fatores ambientais principais e relacionados: a sua caracterização climática e a disposição dos seus recursos hídricos superficiais.

A condição do clima do país com a predominância tropical úmido e semiúmido mostra marcadas variações sazonais de precipitação, que aumentam em direção ao sul e da costa adjacente para o interior do continente associado ao clima, assim o país é influenciado por ciclones tropicais e o fenômeno El Niño/La Niña que aumentam a variabilidade hidroclimática, contribuindo para cheias e secas extremas, que ocorrem ciclicamente e com intensidade e intervalos variáveis (Uele et al., 2017).

**Figura 21** Diferenças de temperatura (TM) e precipitação (PRP) em Santarém e em Maputo



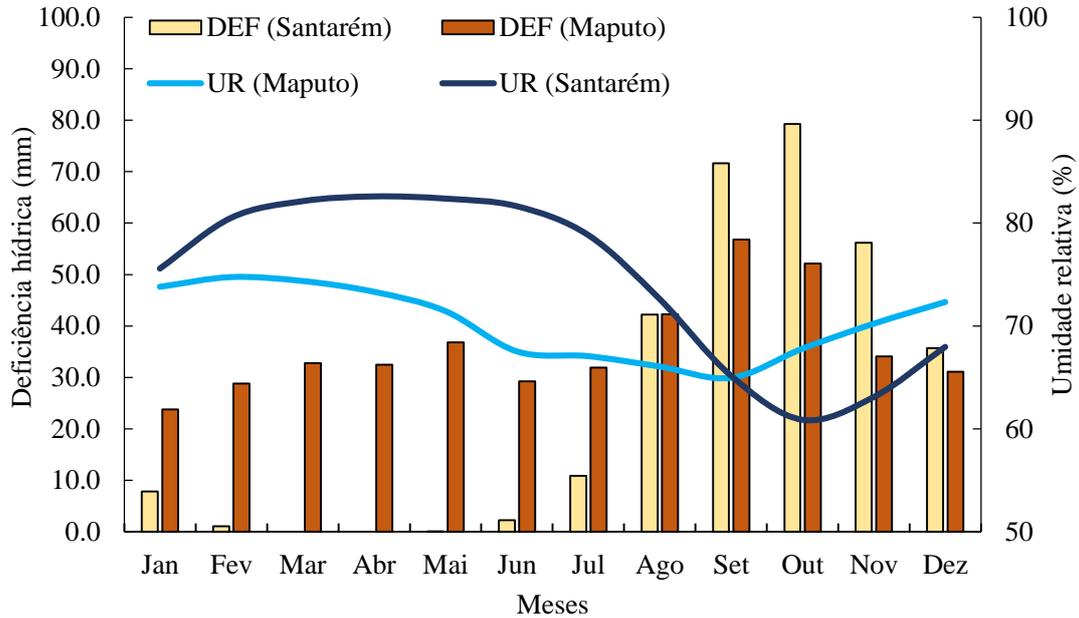
Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados indicaram que a deficiência hídrica em Santarém entre os meses de agosto e dezembro, sendo que este resultado é confirmado por Martorano (2020) que enunciou que o período chuvoso na Amazônia são distribuídos de forma desigual, e de junho a novembro são apontadas reduções da oferta pluvial. O estudo reforçou ainda que tecnologias de reaproveitamento de água e o uso de conhecimentos técnicos práticos podem facilitar o processo de reposição hídrica nas culturas.

É oportuno destacar que os sistemas meteorológicos que modulam as condições de tempo e clima na Amazônia, principalmente quanto ao regime pluvial, influenciadas por fatores que atuam em m diferentes escalas espaço-temporal, tais como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), além dos Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Sistemas Frontais (SF) e Linha de Instabilidade (LI) (Carvalho et al., 2002; Cohen et al., 1995; De Souza e Ambrizzi 2006; Souza F, 2016 e Vitorino et al., 2006).

Vale ressaltar que nas condições de Maputo, a deficiência hídrica é refletida em quase todos os meses do ano, agravando-se mais na época em que a umidade também é baixa, mostrando maior sensibilidade para determinados cultivos agrícolas, e a necessidade de um sistema de irrigação que possa suprir as necessidades hídricas das plantas. O balanço hídrico no solo pode contribuir para deficiência hídrica nas fases cruciais de desenvolvimento da planta.

Os autores Allan et al. (2021) e IPCC (2013) e Dian et al. (2019) e Doorenbos et al. (1979) já previam isso quando enunciaram que a escassez da água iria gerar preocupações que justificassem estudos das relações entre o déficit hídrico e a produtividade; Assim, a sistematização da frequência de irrigação através do coeficiente sensibilidade das culturas poderá contribuir para planejar melhor a quantificação e o uso da água pela cultura, a fim de que se tenha uma irrigação mais eficiente. Na Figura 22 são representados gráficos de deficiência hídrica e umidade relativa nas áreas analisadas.

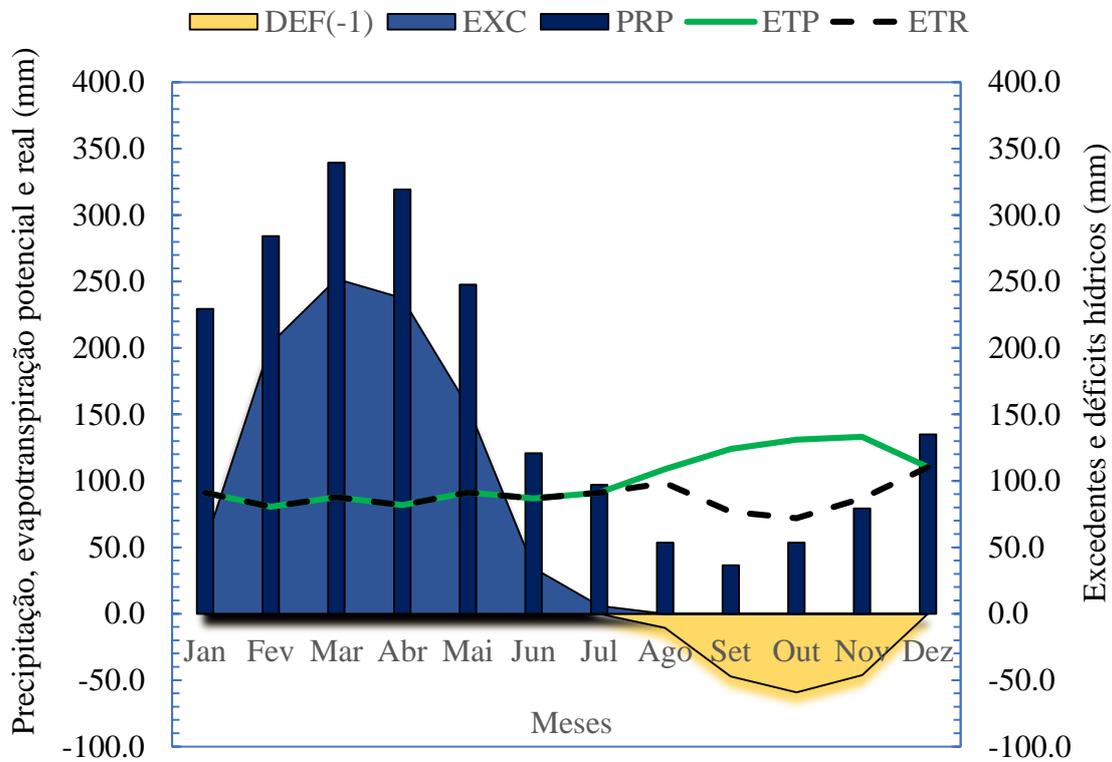
**Figura 22** Diferenças de umidade relativa e deficit hídrico em Santarém e em Maputo

Fonte: Autoria própria (2023)

#### 5.4 Histórico de Balanço hídrico climático para o contexto de Santarém e Maputo

Os resultados do histórico do balanço hídrico climático em Santarém (1982 a 2022) evidenciam que entra no sistema em média 2.118,9 mm (PRP) de águas pluviais e, saem na forma de evapotranspiração potencial média 1.549,4 mm e 1322,8 mm, um excedente hídrico (EXC) foi de 796,1 mm e um déficit hídrico (DEF) de 226,6 mm. Na Figura 23 é possível observar que março é o mês com as maiores estradas de águas pluviais, contabilizando-se em média 382,9 mm.

**Figura 23** Variação mensal de precipitação pluvial (PRP), déficits (DEF) e excedentes (EXC) hídricos para uma CAD de 125 mm, entre 1982 a 2022, em Santarém, Pará, Amazônia Oriental.



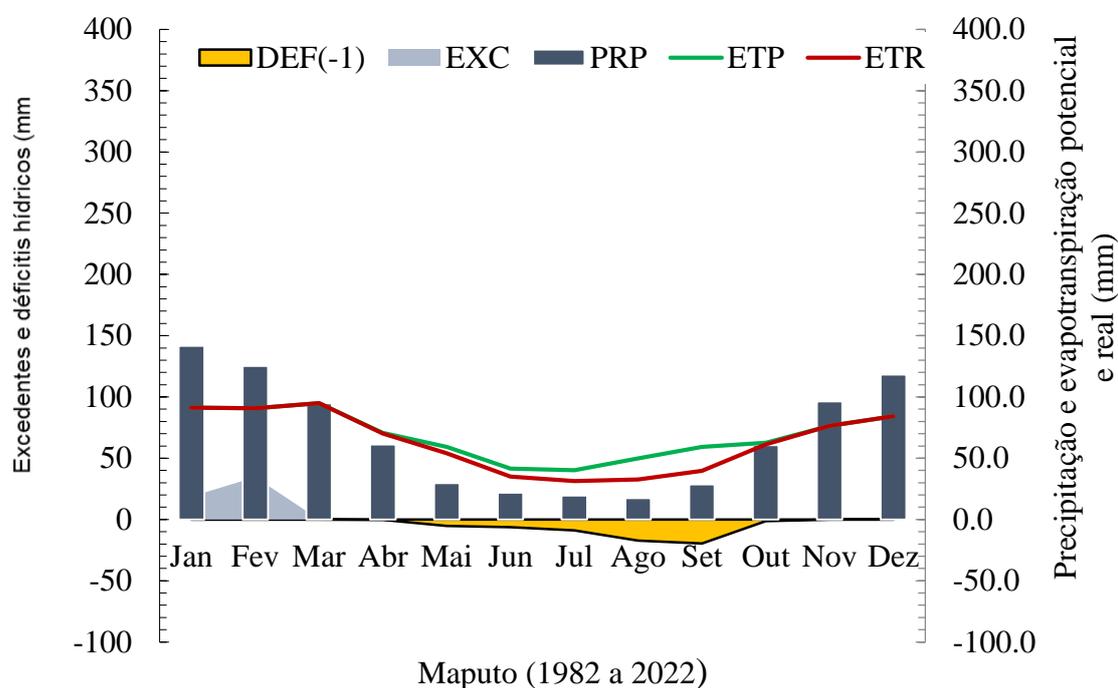
Santarém, Pará (1982 a 2022)

Fonte: Autoria própria (2023)

O déficit hídrico (DEF) anual médio de -226,6 mm, indicando que há necessidade de reposição de água no solo, principalmente no período de agosto a novembro com as maiores demandas em outubro, reforçando a importância da adoção de estratégias de baixo custo e simples no processo de irrigação dos cultivos.

Em Maputo, o histórico do balanço hídrico climático (1982 a 2022) ilustrado na Figura 24 evidencia que entra no sistema em média 108.6 mm (PRP) de águas pluviais e, saem na forma de evapotranspiração potencial média 1.425 mm e excedente hídrico (EXC) de 1814 mm **com** éficit hídrico (DEF) de 303.9 mm.

**Figura 24** Variação mensal de precipitação pluvial (PRP), déficits (DEF) e excedentes (EXC) hídricos para uma CAD de 125 mm, entre 1982 a 2022, em Maputo, Moçambique, África Austral.



Fonte: Autoria própria (2023)

Foi evidente que em Maputo o período de deficit hídrico é mais prolongado reforçando a necessidade de garantir o reaproveitamento ao máximo da precipitação para o uso agrícola. Portanto, pode se notar que o balanço hídrico apresenta sensibilidade para detectar possíveis alterações nos padrões de excedentes e déficits hídricos no solo, sendo um importante modelo no planejamento de cultivos agrícola (De Villa et al., 2022). Assim é uma ferramenta importante para a seleção do sistema de irrigação para que se possa criar meios de difundir tecnologias capazes de manter os cultivos irrigados no período de escassez de água no solo.

As chuvas semeadura no sul de Moçambique geralmente iniciam na segunda semana do mês de outubro, prolongando-se até meados de fevereiro, elas são mais intensas durante os meses de dezembro e janeiro. No entanto, e durante esse período é que se registram maior insolação e elevadas temperaturas (no verão as temperaturas máximas chegam a atingir 40°C), o que muitas vezes determina a perda de culturas, principalmente o milho, devido não só as elevadas temperaturas, mas também devido à irregularidades no regime de chuvas (Siteo, 2008).

A escassez da água desencadeia preocupações que justificam a realização de estudos voltados as análises de déficits hídrico associados com a produtividade das culturas agrícolas. As avaliações de padrões climáticos com base nos estoques de água no solo,

estimados por modelos de balanços hídricos sinalizam a indicação de áreas que necessitam de adoção de sistemas de irrigação para atender as demandas evapotranspiratórias das culturas agrícolas, pois em períodos de déficits hídricos no solo, dependendo da profundidade das raízes, tipos de solos, estágio fenológico da culturas, as perdas podem ser irreparáveis (De Villa et al. 2022).

O balanço de água do solo é um instrumento de planejamento estratégico, pois em períodos prolongados de secas severas, recomenda-se ao produtor agrícola adotar estratégias com maior eficiência de uso da água, sendo a irrigação com potes de argila uma alternativa de fácil adoção pelos agricultores de base familiar rural. Santarém e Maputo possuem temperaturas semelhantes nos primeiros meses do ano, ou seja, entre janeiro a março, mas se distanciam no mês de outubro com temperaturas mais elevadas em Santarém. Os valores de deficiência hídrica sinalizam que há necessidade de adoção de tecnologia de irrigação para suprir as demandas evapotranspiratórias das culturas, em períodos prolongados de seca nas propriedades rurais.

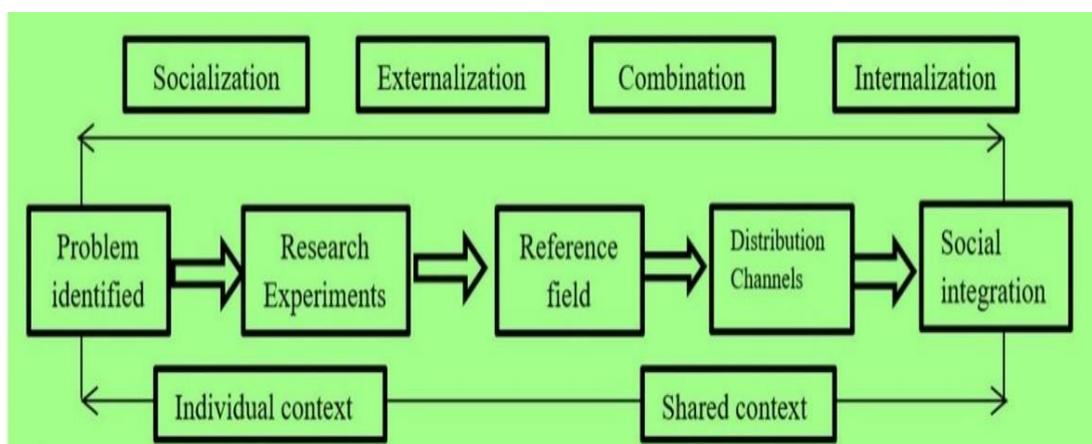
### **5.5 Conversão do conhecimento na URT entre diferentes atores na irrigação com potes de argila na Comunidade de Lavras**

A URT foi implantada em 2016, onde após as entrevistas realizadas com os atores e pioneiros do projeto verificou-se que para a implementação do projeto, houve a coexistência de conhecimentos de diferentes áreas científicas: ciências naturais (física, fisiologia vegetal, hidrologia, meteorologia) e ciências sociais: (economia, sociologia) empenhados na adoção de técnicas de irrigação de baixo custo, materiais simples e de acesso local como os potes de argila, que fosse eficaz para solucionar as deficiências de escassez nas culturas.

Ao longo das entrevistas, foram identificados um conjunto de práticas e rotinas diárias do produtor, sendo elas: sementeira, sachas, adubação, dias de campo, elaboração de roteiros de visitação, fichas técnicas de acompanhamento da cultura em campo, entre outras atividades que foram altamente adaptáveis a disposi o dos potes em campo que representam um conhecimento incorporado na vivência dos produtores com a tecnologia e, com a realiza o de experimentos, atualmente este sistema de irriga o por potes de argila pode ser altamente replicável. Este resultado corrobora com Carlos e Martorano (2020) que conclui em seu estudo que a ado o da irriga o com potes de argila flexibilizou para que os agricultores se apropriassem de conhecimento útil não são sobre a tecnologia em si, mas também sobre o sistema de reposi o de água às plantas, relacionando ao uso de tecnologias alternativas e também sobre práticas sustentáveis de irriga o.

A apropriação do conhecimento pelo produtor foi explicada através da conversão do conhecimento tácito e explícito, pela adaptação da espiral do conhecimento desde a fase de Socialização até a internalização. O modelo SECI proposto por Nonaka e Toyama (2003), onde a sua representação esquemática é apresentada na Figura 25 evidenciando a criação, transformação e apropriação do conhecimento com base nas fases de implementação do sistema de irrigação com potes de argila.

**Figura 25** Adaptação do modelo SECI para descrever o processo de criação de conhecimento na implementação da irrigação com potes de argila na comunidade de Lavras, Santarem- Pará



Fonte: adaptado pelo autor do modelo do Nonaka e Takeuchi (1995)

Nesse contexto, na Comunidade de Lavras a *fase de Socialização* correspondeu à identificação do problema, às atividades de planejamento e aos testes aplicados à tecnologia para a execução de experimentos para comprovar sua viabilidade técnica e econômica. Importa salientar que na fase de Socialização, o conhecimento tácito é compartilhado e capturado pelos atores envolvidos.

A *fase de Externalização* representa a etapa em que os pesquisadores criaram uma unidade de referência onde aconteceram as interações entre diferentes atores da cadeia de suprimentos, os quais tomaram conhecimento do projeto e compartilharam suas percepções sobre o sistema como um todo.

A *fase de Combinação* representa a partilha do conhecimento por meio de bases de dados e informações, as quais são disseminadas em diversos canais: sendo elas publicações científicas, em 4 teses de doutorado, 2 dissertação de mestrado, 12 publicações em nível nacional e internacional. Contabilizando-se em 2020 um total de 164 visitantes na URT, indicando que esses atores conheceram a tecnologia e o seu dimensionamento, sendo que 98 dos visitantes eram de provenientes de universidades, 36 atuavam em instituições de pesquisa

e 30 não estavam ligados a nenhuma instituição de ensino, pesquisa e extensão rural, o que pode confirmar a popularização e interesse da social pela tecnologia.

A *fase de Internalização* ainda é embrionária, no entanto já existe um número considerável de interessados em ter acesso a tecnologia de irrigação com potes de argila, ela tem sido cada vez mais testada e validada até mesmo para novos modelos de potes, potencializando assim este método de irrigação para um grande número de adotantes, uma vez que se torna mais fácil a adaptabilidade dos modelos aos diferentes contextos.

A medida em que se massifica a adoção da irrigação com potes de argila, e as suas vantagens são difundidas, mais agricultores conseguem ter a experiência prática de uso e podem se apropriar de um conhecimento genuíno. Nonaka e Konno (1998) tem reforçado este exposto enfatizando que a internalização do conhecimento é dada pela ação e pela prática dos indivíduos. Assim, os resultados neste estudo mostraram que os conhecimentos gerados pela experiência de irrigação com potes de argila têm se tornado um saber-fazer técnico internalizado como conhecimento tácito adquirido individualmente. Por exemplo, a aplicação dos conhecimentos adquiridos durante a leitura dos manuais técnicos dos fabricantes dos potes, os cursos de curta duração realizados, a instrução sobre materiais adquiridos, os testes práticos, e durante aos reparos aos potes e técnicas de manejo, são nesses momentos em que os conhecimentos são internalizados.

### **5.5.1 Identificação do Ba na tecnologia de Irrigação**

No processo, a interdependência entre os agentes, à medida que os atores abraçam seu ambiente e começam a sintetizar os conhecimentos tácito e explícito em um espaço. São considerados espaços em que são consolidadas as fases de Socialização, Externalização, Combinação e Internalização, descritas como se segue:

#### **a) Socialização**

Neste item identificou-se as reuniões coletivas, percebe-se que os produtores e os pesquisadores, sempre que possível, se reúnem para informar o desenvolvimento das culturas agrícolas e partilha de experiências. Esses momentos de socialização foram importantes para a consolidação da URT, pois ofereceram condições favoráveis para o desenvolvimento de atividades em grupo, contribuíram para aproximar diferentes estruturas ligadas a área agrícola. Por meio de toda essa estrutura criada foi possível apresentar e disseminar novas ideias, e permitem o compartilhamento de experiências e conhecimentos.

Desta forma, é possível verificar a existência de espaços dentro da URT destinados à livre comunicação entre os visitantes, como por exemplo, área de criação de animais, área de serviço, varanda, campo experimental, área de sistema agroflorestal e os espaços no entorno dos potes, que estão sempre em constante mudança.

De se referir ainda que a existência desses espaços nem sempre é percebida como um ambiente de livre comunicação entre eles. As confraternizações também são importantes no processo de socialização do conhecimento dentro da URT porque contribuem para aproximar os agricultores na propriedade rural com os visitantes. Durante os momentos de confraternizações o conhecimento que é socializado em diferentes vertentes, não se limita apenas a assuntos relacionados à tecnologia de irrigação, já que se pressupõe que todos estejam mais à vontade, de modo que o compartilhamento seja espontâneo. Esses resultados corroboram com Nonaka e Konno (1998), onde estabelece que os espaços dedicados à fase de socialização do conhecimento representam os lugares em que os indivíduos compartilham sentimentos, emoções, experiências e modelos mentais.

#### b) Externalização

Verificou-se que todos os atores utilizam mecanismos de interação para expor seus conhecimentos e interpretações sobre o sistema de irrigação com potes de argila observados em diversos contextos (feiras, palestras, visitas de campo, relatórios técnicos). Os produtores mostraram-se favoráveis a existência de rotinas compartilhadas, visto que há tendência média das respostas na dinâmica que apresentou grau de concordância considerável entre o conhecimento técnico e o dimensionamento do que se têm estado a externalizar para a sociedade sobre as vantagens da tecnologia de irrigação de baixo custo.

O conhecimento identificado nos espaços Ba têm sido amplamente capitalizados pelos familiares e produtores circunvizinhos. Atualmente, esse conhecimento provém do registro sistemático e dos avanços técnicos no sistema instalado em Lavras. É possível verificar que a fase de externalização constitui um contributo importante para o compartilhamento de conhecimentos entre os atores que experienciam as diferentes facetas da Irrigação com potes de argila.

#### c) Combinação

Esta fase representa a sistematização na integra conhecimentos e suas respectivas fontes de maneira explícita e intencional. Eventualmente isso passa por artefatos computacionais, mas também pode ser feito em papel, usando planilhas e outros recursos mais

rudimentares. é sistematizar e aplicar o conhecimento explícito e a informação, de grupo para organização. Assim, é neste ponto do processo de criação de conhecimento que surgiu os primeiros protótipos e modelos reais do sistema de irrigação com potes de argila, pela forma genuína da fase de combinação tem em agregar conhecimentos explícitos, novos ou já existentes, num sistema de conhecimento como um conjunto de especificações para mais produtores.

#### d) Internalização

A respeito dos treinamentos realizados ao longo do projeto, percebe-se que há necessidade de desenvolver iniciativas locais de internalização ao maior número de produtores, promover capacitações na tecnologia para que haja o desenvolvimento de atividades conjuntas para difusão da tecnologia, posto que uma das formas pelo qual o conhecimento pode ser internalizado dentro da organização é através do treinamento (Nonaka e Takeuchi, 2007).

A ausência de treinamentos pode comprometer o aprendizado e a adoção de novas atividades porque o treinamento representa uma ferramenta importante no desenvolvimento de novos conhecimentos, bem como do conhecimento já existente. Além disso, a falta de capacitação perante o uso de novas tecnologias pode acarretar numa ineficiência no desenvolvimento de uma determinada atividade ou na prestação de um serviço, além de gasto com tempo. O conhecimento é parte inexorável de um espaço Ba, onde é então adquirido através da própria experiência, reflexões, e nas vivências de outros sendo partilhada sob diferentes aspectos. Se o conhecimento for separado do Ba, ele se transforma em informação<sup>1</sup>, que pode então ser comunicada independentemente do espaço.

A informação reside nas mídias e nas redes, e é tangível. Em contraste, o conhecimento reside no espaço Ba, e é intangível. Uma rede interorganizacional não pode criar conhecimento, mas pode proporcionar um espaço de relações positivas e construtivas entre os atores e seu ambiente. Assim, a troca de dados<sup>2</sup>, de informação, de opinião, de colaboração e de mobilização sobre um projeto confrontado às necessidades do desconhecido, convergem para um efetivo espaço Ba para suporte a ampliação do conhecimento<sup>3</sup> dentro das organizações

---

<sup>1</sup> Informação- Dados dotados de relevância e propósito; requer unidade de análise; exige consenso em relação ao significado; exige necessariamente a mediação humana.

<sup>2</sup> Dado- Simples observações sobre o estado do mundo; facilmente estruturado e obtido por máquinas; frequentemente quantificado e facilmente transferível (Davenport, 1998).

<sup>3</sup> Conhecimento- Informação valiosa da mente humana, que inclui reflexão, síntese, contexto. É caracterizado por ter difícil estruturação; é de difícil captura; frequentemente tácito e de difícil transferência (Davenport, 1998).

(Teixeira, 2019). O Quadro 7 indica as principais evidências do Ba em cada fase de conversão de conhecimento na URT em Lavras.

**Quadro 7** Evidências do Ba na URT

Originando o Ba (tácito x tácito)	Dialogando com o Ba (tácito x explícito)	Sistematizando o Ba (explícito x explícito)	Exercendo o Ba (explícito x tácito)
Identificação de problemas recorrentes em pequenos produtores	Formação de produtores de unidades de referência	Relatórios, registros fotográficos e filmagens	Depoimentos de agricultores e suas famílias no campo de referência
Reuniões entre a comunidade e os pesquisadores	Composição de uma equipe de trabalho de diferentes países	Difusão de tecnologia em fóruns e feiras acadêmicas	Experiência de pesquisadores trabalhando com tecnologia
Criação de parcerias locais para o projeto	Dias de campo e visitas a propriedade	Publicações científicas	
Socialização entre múltiplos saberes, contextos e percepções	.	Visitas técnicas e realização de experimentos	
		Especificações de tecnologia	

Fonte: Autoria própria (2023)

É importante salientar que o conhecimento pode ser internalizado pelo indivíduo durante o desenvolvimento de uma nova tarefa/atividade, o que é definido por Nonaka e Nishiguchi (2001) como “aprender fazendo”. Para melhorar o nível de aprendizado da internalização sugere-se melhorar a participação dos produtores locais no desenvolvimento de novas atividades dentro do contexto da irrigação com potes de argila.

O conhecimento pode ser internalizado por meio do uso de documentos, técnicas, onde evidencia-se pesquisas divulgadas e por ferramentas de comunicação por onde se difundem as matérias sobre a técnica de irrigação e, consolidando o conhecimento tácito dos produtores. Na Figura 26 são identificados os principais atores e fontes de conhecimento na URT.

**Figura 26** Identificação dos atores e fontes do conhecimento no Espaço Ba para o projeto em Lavras



Fonte: Autoria própria (2023)

## 5.6 Mudanças geradas nos cultivares dos produtores em Lavras

Com o aumento da disponibilidade de água para irrigar, novas culturas foram incluídas em seus sistemas de cultivo, permitindo assim a consorciação de culturas, maximizando a área produtiva. A renda familiar anteriormente proveniente do cultivo e venda de 1 hectare de mamão (*carica papaya*), passou a ser substituída por uma área de ½ hectare, mas com uma diversidade de culturas e disponibilização de mais produtos no mercado do produtor de orgânicos. Para além das dificuldades enfrentadas com a instabilidade das chuvas e longos períodos de estiagem, o ataque frequente de pragas devido a variedade de culturas utilizadas e impossibilidade de rotação de culturas entre safras pela exigência de cada cultura (demanda hídrica) geravam perdas acentuadas comprometendo muito a renda familiar.

A diversificação de culturas na área do produtor permitiu ganhos na produtividade agrícola e também foram percebidos ganhos econômicos na propriedade rural. Antes da instalação do sistema de irrigação, a principal fonte de rendimento era proveniente da comercialização do mamão (*Carica papaya*). No entanto, depois da instalação da irrigação com potes de argila começaram também a receber renda proveniente da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*), gergelim (*Sesamum indicum L.*), maxixe, amendoim (*Arachis hypogaea*), acerola (*Malpighia emarginata*), pimenta (*Xylopia langsdorffiana*), ata (*Annona squamosasp*), maracujá doce e azedo (*Passiflora sp.*), pupunha, tangerina (*Citrus tangerine*), urucum (*Bixa orellana*), abacaxi (*Ananas comosus*) e banana (*Musa sp.*).

A URT em Lavras conseguiu otimizar a área de cultivo uma vez que numa área de  $\frac{1}{2}$  hectare conseguiu aumentar a diversidade de culturas e manteve oportunidades de venda de produtos diversos no mercado e das vendas em casa, trazendo compradores diretos na propriedade rural. Esses resultados estão em conformidade com os resultados de Siqueira et al. (2018) que evidência que a irrigação com potes de argila apresenta alto potencial de aplicação em outras áreas no território brasileiro.

No Quadro 8 pode-se observar cultivares antes e depois do uso da irrigação com potes de argila na propriedade rural em Lavras, onde foi notório observar que com o aumento da disponibilidade de água para irrigar as culturas que antes eram sazonais passaram a ser comercializadas mesmo fora das épocas habituais, o que possibilita que o produtor continue tendo as culturas diversas disponíveis no mercado, melhorando assim a sua renda.

Adicionalmente, o sistema de irrigação com potes de argila e toda técnica envolvida em sua implementação trouxe visibilidade à comunidade, uma vez que após a implantação da URT na comunidade de Lavras, esta passou a ser uma referência em aulas práticas para diferentes áreas acadêmicas. Ademais, passou-se a realizar dias de campo frequentes aos produtores de orgânicos, ampliando assim o número de visitantes estrangeiros e nacionais. Acredita-se que a URT gerou interesse de pesquisadores, extensionistas, alunos e professores de escola superior e do ensino médio. Foi também designada como uma tecnologia social na perspectiva de empreendedorismo através da startup denominada PotPlus, como parte do programa desenvolvido no Centro de empreendedorismo na Amazônia, onde foi avaliada como um negócio sustentável por apontar indicadores sociais, econômicos e ambientais sendo totalmente adaptável a pequena escala física e financeira sendo recomendável para agricultores, cooperativas e associação de pequenos produtores e aos profissionais envolvidos em atividades de jardinagem (Silva et al. 2021).

**Quadro 8** Culturas produzidas em de irrigação convencional e após a implementação do sistema de irrigação com potes de argila

Culturas	Jan	Feb	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Abacaxi <sup>a</sup> <i>Ananas comosus</i>												
Abacaxi * <i>Ananas comosus</i>												
Acerola <sup>a</sup> <i>Malpighia emarginata</i>												
Acerola * <i>Malpighia emarginata</i>												
Adão * <i>Monstera deliciosa</i>												
Ata* <i>Annona squamosa</i>												
Amendoim* <i>Arachis hypogaea</i>												
Banana <sup>a</sup> <i>Musa</i>												
Banana * <i>Musa</i>												
Feijão verde * <i>Phaseolus vulgaris L.</i>												
Sesame * <i>Sesamum indicum L.</i>												
Mamão <sup>a</sup> <i>Carica papaya</i>												
Mamão* <i>Carica papaya</i>												
Maracuja doce* <i>Passiflora</i>												
Laranja * <i>Citrus sinensis</i>												
Pimenta* <i>Xylopiya langsdorffiana</i>												
Pimentinha* <i>Capsicum frutescens</i>												
Tangerine <sup>a</sup> <i>Citrus tangerine</i>												
Tangerine * <i>Citrus tangerine</i>												
Urucum * <i>Bixa orellana</i>												

\* após a instalação do sistema de irrigação com potes de argila, <sup>a</sup> culturas produzidas pelo sistema convencional

Fonte: Autoria própria (2023)

### 5.7 Análise da percepção dos produtores sobre o domínio do conhecimento gerado antes e depois da irrigação com potes de argila

A proporção da variância sobre o procedimento de cluster sobre as percepções do grupo de produtores e seus familiares (Quadro 9) foi discriminada a partir de dois componentes principais, sendo que o primeiro componente foi de 61.69%, e para o segundo 38.31%.

**Quadro 9** Procedimento cluster evidenciando o relacionamento entre o conhecimento gerado antes e depois da Irrigação com potes de argila

Eigenvalues of the Correlation Matrix				
	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	1.23371318	0.46742635	0.6169	0.6169
2	0.76628682	0.76628682	0.3831	1.0000
3	0.00000000	0.00000000	0.0000	1.0000
4	0.00000000	0.00000000	0.0000	1.0000
5	0.00000000	0.00000000	0.0000	1.0000
6	0.00000000	0.00000000	0.0000	1.0000
7	0.00000000	0.00000000	0.0000	1.0000
8	0.00000000		0.0000	1.0000

Fonte: Autoria própria (2023)

A Matriz de correlação indicada no Quadro 10 evidência o interrelacionamento entre as variáveis analisadas e as interações estatísticas realizadas entre o domínio de novos conceitos no uso do sistema de irrigação na perspectiva dos produtores e na visão dos seus familiares. Há que salientar que também existiram relações inversas entre a percepção sobre o conhecimento na ótica dos produtores, em relação aos seus familiares. Isso se justifica porque os produtores consideram que houve um aprofundamento de matérias que já possuíam algum domínio, como por exemplo: os produtores mencionaram que já eram produtores de produtos orgânicos e tinham noções sobre sustentabilidade, uma vez que sempre viram a necessidade de produzir alimentos livres de agrotóxicos.

**Quadro 10** Matriz de correlação entre as variáveis de estudo

Correlation Matrix								
	HhfaYes	HhfaNo	HhfbYes	HhfbNo	Ppayes	PPano	Ppbyes	Ppbno
HhfaYes	1.0000	-.6654	0.2915	-.2915	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
HhfaNo	-.6654	1.0000	-.4381	0.4381	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
HhfbYes	0.2915	-.4381	1.0000	-1.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
HhfbNo	-.2915	0.4381	-1.000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ppayes	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
PPano	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ppbyes	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ppbno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

HhfaYes- Conceitos de domínio pelos produtores na visão dos seus familiares depois do projeto IrrigaPote.

HhfaNo- Conceitos de domínio pelos produtores na visão dos seus familiares antes do projeto IrrigaPote.

HhfbYes- Conceitos de domínio pelos produtores depois do projeto IrrigaPote.

HhfbNo- Conceitos de domínio pelos produtores antes do projeto IrrigaPote.

Fonte: Autoria própria (2023)

A análise de componentes principais (PCA) ilustra como cada grupo de variáveis contribui para a variância geral dos dados. Na pesquisa, o primeiro componente (HhfaYes), responde por 61,69% da variância e influencia o conhecimento percebido adquirido após o projeto IrrigaPote, conforme indicado pelo primeiro quadrante. Conseqüentemente, na perspectiva dos seus familiares (filhos), houve uma melhoria no domínio de conceitos *como planeamento, monitorização, variabilidade sazonal, custos de produção, alterações climáticas, conservação e identificação de espécies, condições agrometeorológicas locais, mudanças climáticas, evapotranspiração evaporação, sustentabilidade, ecossistemas, serviços ambientais e bioeconomia.*

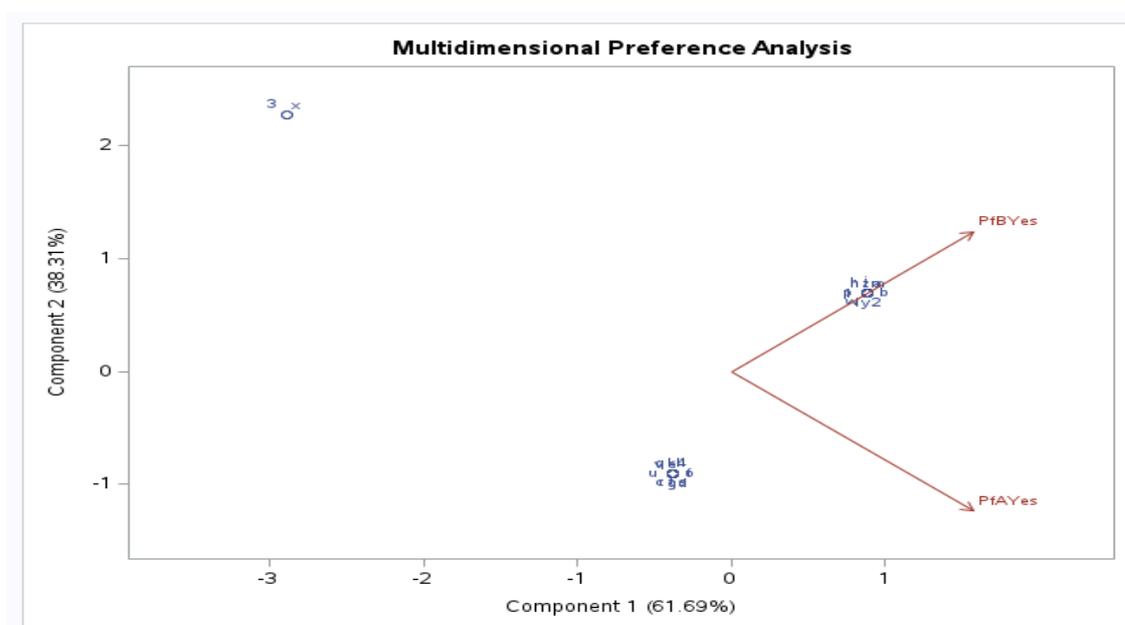
O segundo componente (HhfbYes) provém do conhecimento gerado pelo projecto IrrigaPote na perspectiva dos produtores, representado no segundo quadrante com uma variação de 38,31%. Os produtores observaram uma progressão na compreensão de conceitos como *evapotranspiração, produtividade, rendimento, lucro, reposição hídrica, pegada hídrica, consórcio de culturas, sustentabilidade, ecossistemas, cultivo integrado, condições agrometeorológicas locais, serviços ambientais,* conforme ilustrado na Figura 27.

Os produtores enfatizaram que se afiguram como produtores de base familiares, e isso fez com que sempre pautassem por uma agricultura mais consciente e sustentável, mas a inclusão do projeto facilitou-lhes para o reconhecimento público e para que se posicionassem no mercado como sendo produtores orgânicos que pautam por praticas conservacionistas em

seu processo produtivo, apropriando-lhes de legitimidade para que futuramente possam se beneficiar da lei de pagamento por serviços ambientais (PSA), por corresponderem a categoria de serviços de provisão, regulação, suporte e cultural.

Este cenário serve como um espaço prototípico "Ba" para a aprendizagem coletiva sustentável, uma vez que o conhecimento contido nos 32 conceitos em que analisou-se o domínio dos produtores e seus familiares são indicadores poderosos nos domínios social-ambiental, indicando que o conhecimento tácito gerado pelo uso da tecnologia quando implementada aos produtores familiares tem potencial de replicabilidade enaltecendo a sua contribuição nas soluções hídricas eficientes, para o uso em famílias de agricultores rurais em todo o mundo.

**Figura 27** Análise multidimensional com a percepção sobre as mudanças percebidas pelos agricultores e seus familiares



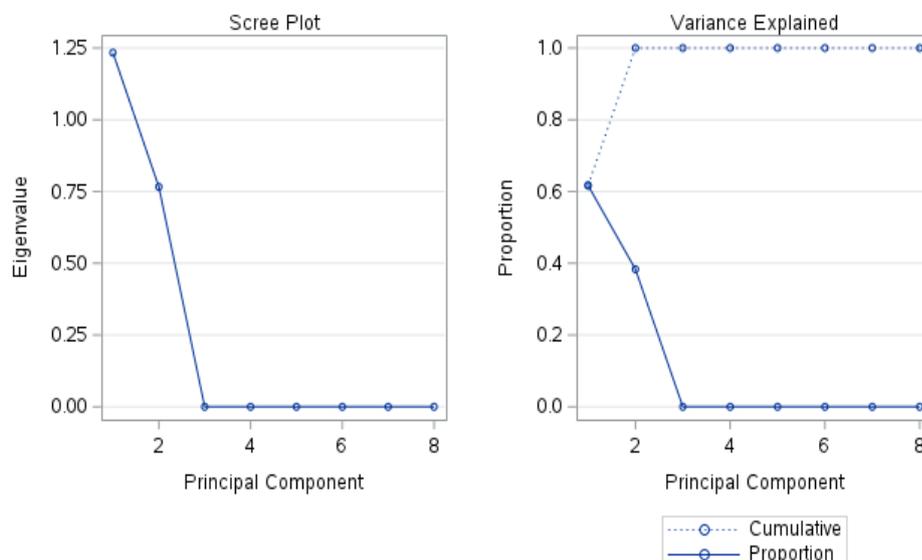
Percepção dos familiares (PfAYes)

Percepção dos agricultores (PhBYes)

Fonte: Autoria própria (2023)

O scree plot (Figura 28) ilustra que dois componentes principais parecem ser necessários e suficientes para descrever adequadamente o conhecimento acumulado durante a implementação do projeto, a partir das perspectivas dos produtores, de suas famílias e do espaço "Ba" geral promovido pela a tecnologia IrrigaPote.

**Figura 28** Representação do Scree plot e da variância



Fonte: Autoria própria (2023)

As constatações sublinham a importância desta tecnologia para os agricultores de base familiar no alívio dos desafios sazonais, no aumento do valor agrícola e no aumento dos conhecimentos técnicos e científicos. A partir da segunda componente principal, o autovalor estabiliza, indicando que a variância das restantes componentes é contabilizada pelas duas componentes principais. Notavelmente, esses dois componentes atendem ao critério de explicar mais de 89% da variância.

No quadro 11 são listados os conceitos apropriados pelos produtores antes e depois de utilizarem a irrigação com potes de argila. É de salientar que para os produtores, este método de irrigação trouxe apenas mudanças técnicas na forma como administravam a água para irrigar, enquanto que seus familiares consideram que a irrigação com potes de argila mudou todo o processo produtivo de seus familiares.

**Quadro 11** Descrição dos novos conceitos do agricultor após o sistema de irrigação com potes de argila na visão dos agricultores e seus parentes

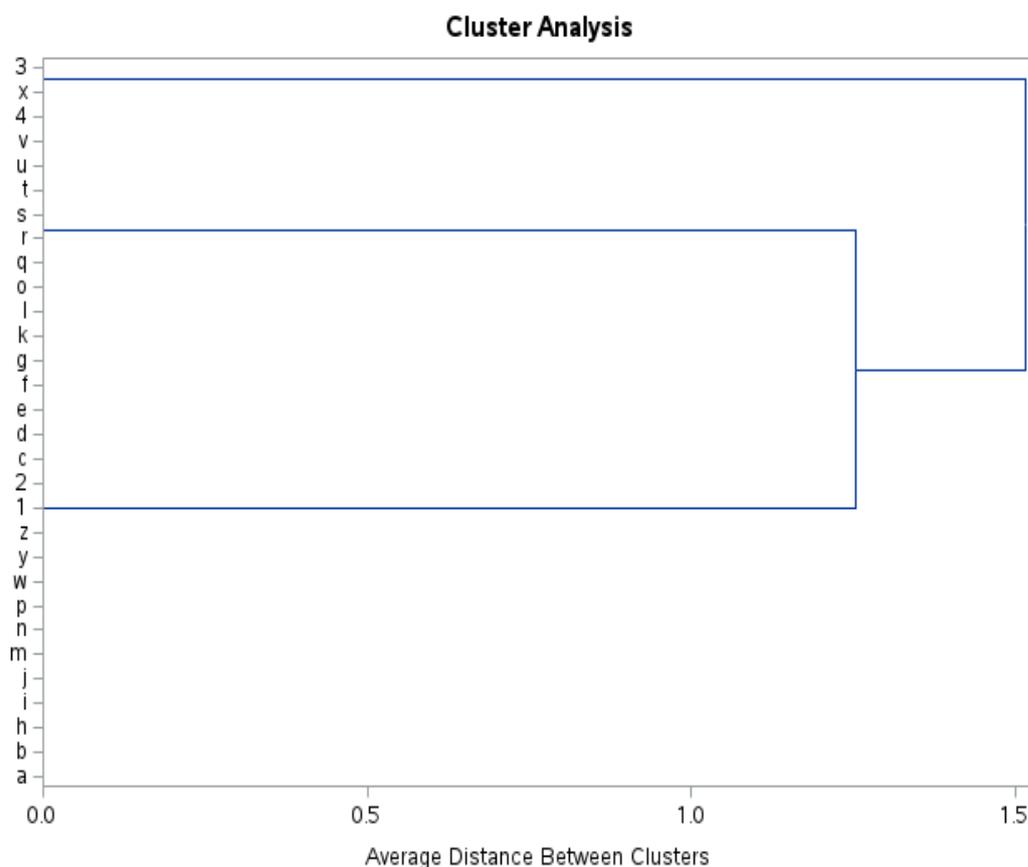
Conceitos	Agricultores				Familiars			
	Antes		Depois		Antes		Depois	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
Economia	■		■			■	■	
Custos de produção	■		■			■	■	
Cadeia de produção		■	■			■	■	
Produção		■	■			■	■	
Renda		■	■			■	■	
Lucro		■	■			■	■	
Produtividade		■	■			■	■	
Planificação	■		■			■	■	
Monitoria	■		■			■	■	
Avaliação	■		■			■	■	
Sazonalidade		■	■			■	■	
Consórcio		■	■			■	■	
Sustentabilidade	■		■			■	■	
Serviço Ambiental	■		■			■	■	
Serviço ecossistêmico			■			■	■	
Variabilidade Sazonal	■		■			■	■	
Reúso de água		■	■			■	■	
Pegada hídrica			■			■	■	
Pluviosidade			■			■	■	
Evaporação			■			■	■	
Evapotranspiração			■			■	■	
Conforto térmico		■	■	■		■	■	
Mudança climática	■		■			■	■	
Gradiente térmico		■	■			■	■	
Conservação	■		■			■	■	
Preservação	■		■			■	■	
Temperatura	■		■			■	■	
Espécies	■		■			■	■	
Atmosfera		■	■			■	■	
Fotossíntese		■	■			■	■	
Produção em áreas degradadas		■	■			■	■	
Sim			■					
Não		■						

Fonte: Autoria própria (2023)

Com auxílio de ferramentas estatísticas identificou-se também o grau de efetividade na apropriação deste conhecimento entre os produtores e seus familiares onde, pelas temáticas com maior domínio foram verificadas a ocorrência dessas interações. Com o apoio da análise de agrupamentos obteve-se similaridades no conteúdo pelos temas mais abordados e que passaram a ser de domínio dos produtores e de seus familiares em suas interações rotineiras diárias.

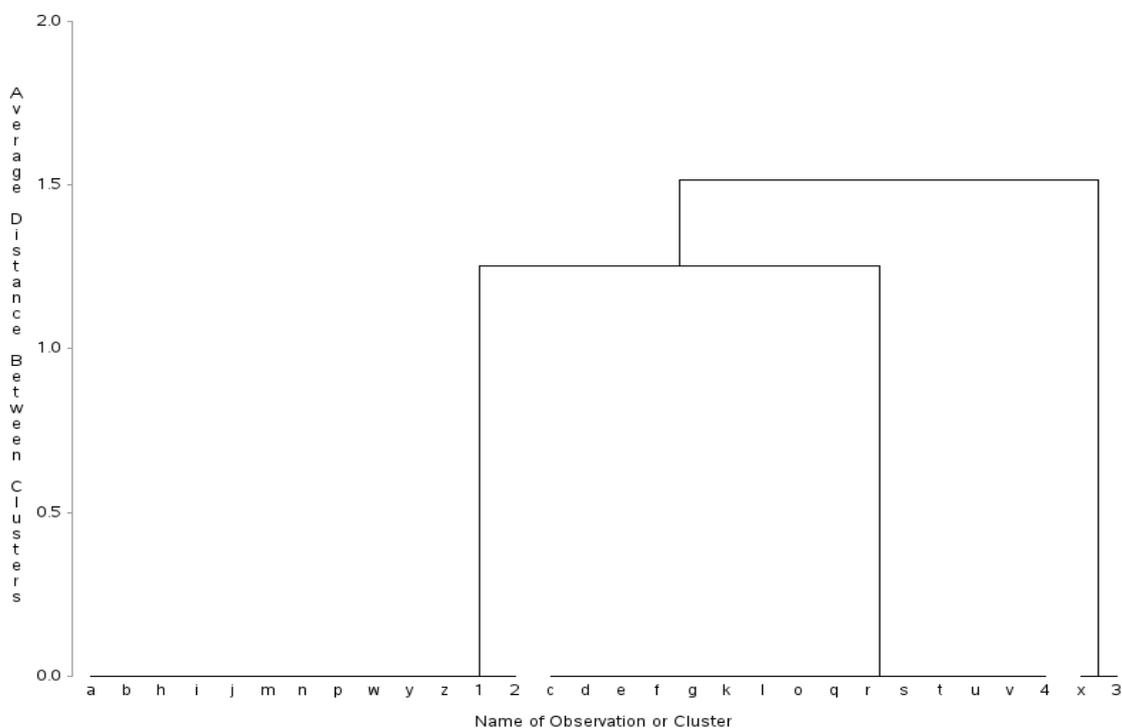
Na Figura 29 os agrupamentos temáticos que são apresentados no gráfico dendrograma, possibilitam verificar três clusters e o que apresenta maior valor médio, é composto por temáticas sobre: *gradiente térmico, conforto térmico, atmosfera, reúso da água, consórcio de culturas e variabilidade sazonal*, constituindo assim temáticas que agregaram conhecimento (tácito) e foram agrupadas como protagonistas das interações.

**Figura 29** Análise de agrupamentos sobre as temáticas de domínio dos produtores



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 29** Análise de agrupamentos sobre as temáticas de domínio dos produtores (cont.)



Fonte: Autoria própria (2023)

O domínio desses conceitos pelos atores tem reforçado a influência das informações passadas de pessoa-a-pessoa, das publicações e dos meios de comunicação social, confirmando a capacidade da tecnologia para manter a produção agrícola, reabastecendo as plantas com água durante as secas, apoiando ainda mais os impactos positivos desta tecnologia. A tecnologia proposta reforça a ampliação da disseminação do conhecimento sobre práticas sustentáveis, tornando-a adequada para aplicação em outras áreas do território brasileiro (Siqueira et al., 2018).

Os resultados da tese confirmam que a presença contínua de pesquisadores, educadores, extensionistas, estudantes, visitantes de diversas nacionalidades, agricultores e profissionais de comunicação desempenhou um papel fundamental na expansão do conhecimento de forma multifacetada para todos os moradores da propriedade rural que utilizam o IrrigaPote. Embora a pesquisa realizada por Florentino et al. (2019) demonstrou a dinâmica intrincada e desafiadora da produção cerâmica no Pará, a metodologia desenvolvida em seu estudo também enfatizou o potencial da utilização de artefatos de argila como um

método envolvente para integrar diversas formas de conhecimento, cada uma com suas características únicas, como base para a base de conhecimento dos residentes da Amazônia.

### **5.8 Aspectos a considerar no sistema de irrigação com potes de argila e mudanças geradas em seu entorno**

Com base nos resultados apresentados verificou-se que a irrigação com potes de argila alterou a forma como se fazia a produção na propriedade, essas mudanças (positivas e negativas) são explicitadas neste estudo pela análise da matriz de levantamento de forças, oportunidades, fraquezas e ameaças (FOFA) onde se pode observar na Figura 30.

No ranking da pontuação identificada na análise foi evidente que a oferta de água nas culturas durante todo ano foi um dos pontos fortes priorizados, e a maior consciência ambiental do reúso de água. Em termos de fraquezas, foram identificadas a falta de uma cooperativa para comprar a produção da propriedade rural e as possíveis fragilidades que podem contribuir para a quebra dos potes. Esses fatores internos têm sido importantes para melhorar a estratégia de integração do sistema de irrigação com potes de argila no mercado de tecnologias sustentáveis considerando os pontos positivos e negativos.

Assim também foram identificadas as oportunidades e ameaças sobre a tecnologia, em termos de oportunidades a pontuação máxima foi identificada pelas parcerias nacionais e internacionais que foram surgindo nesses últimos anos com uso da tecnologia. Outro aspecto oportuno pelo atendimento das diferentes demandas de cultivo e a popularização que a tecnologia. Em termos de ameaças verificou-se que limitações na confecção dos potes e falta de uma política agrária a favor do produtor podem constituir como fatores externos que podem limitar a integração plena da tecnologia no mercado.

Assim notou-se alguma favorabilidade produzida após a pontuação identificada na análise FOFA, verificou-se que a tecnologia de irrigação com potes de argila tem um ambiente promissor e pode progredir como um negócio sustentável, assim como um instrumento capaz de gerar um melhor planejamento estratégico pode se tomar decisões para atividade agrícola, favorecendo a integração no mercado com a venda de produtores alimentares durante todo o ano, este resultado é confirmado por Silva et al. (2019) onde constatou que existe um ambiente favorável e competitivo para expansão da tecnologia como modelo de negócio na Amazônia.

**Figura 30** Identificação de fatores internos e externos na irrigação em Lavras (Matrix FOFA)**Análise das forças**

Oferta de água para as plantas o ano todo	125
Maior consciência ambiental no reuso da água	125
Casa com estrutura para instalação da calha para captura de água da chuva	100
Aumento de conhecimento e domínio de novos conceitos aderentes a teoria de Ba	100
Produtores de orgânicos já inseridos na associação	80

**Análise das oportunidades**

Consolidação de novas parcerias em nível nacional e internacional	100
Popularização da tecnologia para atender diferentes demandas de cultivos irrigados.	100
Integração com profissionais nas mais diferentes áreas do conhecimento técnico-científicos.	80
Replicabilidade do conhecimento científico com o uso da tecnologia com potes de argila	80
Produtos diferenciados com preços competitivos	75

**Análise das fraquezas**

Falta de uma cooperativa para comprar a produção na propriedade rural	125
Fragilidade dos potes	100
Limitação na oferta de potes	100
Falta de artesãos próximos as áreas de interesse	100
Dificuldade no escoamento da produção	64

**Análise das ameaças**

Limitação na confecção dos potes de argila nos locais que existem agricultores interessados na	125
Falta de política agrária que fomente a adoção da tecnologia	125
Dificuldade de oferta de potes e outros materiais para atender imediatamente as demandas dos	100
Ausência de programas de financiamento flexíveis e menos burocráticos	100
A necessidade de sair do nível da pesquisa para uma escala empresarial que atenda a demanda	80

Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 30** Identificação de fatores internos e externos na irrigação em Lavras (Matrix FOFA) (Cont.)**1. Fatores internos**

1.1 Top 5 Forças	530	1.2 Top 5 Fraquezas	489
Oferta de água para as plantas o ano todo	125	Falta de uma cooperativa para comprar a produção na propriedade rural	125
Maior consciência ambiental no reuso da água	125	Fragilidade dos potes	100
Casa com estrutura para instalação da calha para captura de água da chuva	100	Limitação na oferta de potes	100
Aumento de conhecimento e domínio de novos conceitos aderentes a teoria de Ba	100	Falta de artesãos próximos as áreas de interesse	100
Produtores de orgânicos já inseridos na associação	80	Dificuldade no escoamento da produção	64

**2. Fatores externos**

2.1 Top 5 Oportunidades	435	2.2 Top 5 Ameaças	530
Consolidação de novas parcerias em nível nacional e internacional	100	Limitação na confecção dos potes de argila nos locais que existem agricultores interessados na tecnologia	125
Popularização da tecnologia para atender diferentes demandas de cultivos irrigados	100	Falta de política agrária que fomente a adoção da tecnologia	125
Integração com profissionais nas mais diferentes áreas do conhecimento técnico-científicos	80	Dificuldade de oferta de potes e outros materiais para atender imediatamente as demandas dos agricultores	100
Replicabilidade do conhecimento científico com o uso da tecnologia com potes de argila	80	Ausência de programas de financiamento flexíveis e menos burocráticos	100
Produtos diferenciados com preços competitivos	75	A necessidade de sair do nível da pesquisa para uma escala empresarial que atenda a demanda do mercado	80

Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 30** Identificação de fatores internos e externos na irrigação em Lavras (Matrix FOFA) (Cont.)

### Análise geral dos fatores internos e externos

<b>Forças</b>	36%	Suas forças estão mais altas ou iguais as suas fraquezas, mantenha esse bom resultado!
<b>Fraquezas</b>	24%	Suas fraquezas estão mais baixas ou iguais as suas forças, esse é um bom sinal, mas não se acomode!
<b>Oportunidades</b>	18%	Suas oportunidades estão mais baixas do que suas ameaças, vale a pena pensar em planos de ação para reduzir as ameaças.
<b>Ameaças</b>	22%	Suas ameaças estão maiores ou iguais as oportunidades, você precisa pensar em planos de ação para diminuir os riscos delas acontecerem o quanto antes.

### Análise geral dos fatores internos e externos

<b>Forças</b>	1289
<b>Fraquezas</b>	847
<b>Oportunidades</b>	639
<b>Ameaças</b>	778

### Gráfico de radar da análise SWOT



Fonte: Autoria própria (2023)

Outros aspetos observados ao longo da realização do FOFA, foi o aumento da consorciação de culturas dentro da propriedade do produtor, e reduziu-se o tempo disponível dedicado à produção. O aumento da disponibilidade dos produtos no mercado foi um forte indicativo de aumento da capacidade produtiva, diminuindo assim os riscos causados por imperfeições nos produtos agrícolas. No entanto, os resultados apontaram que existe uma fraca conexão entre os diferentes atores da cadeia produtiva, principalmente entre os produtores de matéria-prima e os ceramistas, os transportadores e os planejadores de políticas públicas que estimulem esse método de irrigação, podendo ser um fator limitante a difusão e a adoção da tecnologia para outros produtores locais.

Evidentemente, depois de seis anos de uso do sistema de irrigação na comunidade de Lavras, já se verificam melhorias na propriedade e na apropriação do conhecimento pelos produtores que incidem no planejamento agrícola, uma vez que aumentou a capacidade de retenção de água em 70%, melhorando a oferta de produtos proporcionada pelo armazenamento de água pluvial com a instalação de duas caixas d'água que totaliza um acúmulo de 3 mil litros de água na propriedade do produtor.

Com o acesso a água, mais oportunidades foram se esbalecendo, pois também foi um estímulo para a inclusão de novas culturas com ganhos econômicos aos produtores, que adotaram o cultivo em sistema agroflorestal, e este modelo permitiu a maximização da produtividade das culturas, ganhos financeiros em qualquer época do ano (Carlos e Martorano, 2020).

A dinâmica participativa realizada na URT aos produtores permitiu aferir que a maioria dos visitantes não só aprendem sobre a irrigação sustentável, mas também ganham um novo olhar sobre a responsabilidade sócio-ambiental quanto ao reúso de água pluvial e da utilização de potes de argila como estratégia sustentável de irrigação. Esses resultados reforçam que a tecnologia de irrigação por potes de argila vem ganhando interesse e popularidade no uso de potes de argila para reduzir os impactos ambientais, e minimiza a pegada hídrica azul, posto que apesar de fazermos uso da água para irrigar, o desperdício hídrico não é acentuado e os impactos negativos são atenuados.

Além disso, com o aumento da demanda dos potes artesanais abre-se a oportunidade de incremento da renda pelos artesãos locais, fortalecendo a cadeia de produção cerâmica regional. Assim, a solução integrada de irrigação com potes de argila tem contribuído para

ampliar assim o conhecimento do público em geral sobre segurança hídrica<sup>4</sup>. Esses resultados corroboram com a pesquisa realizada por Siqueira et al. (2018) onde em campos experimentais e capacitações coletivas realizadas em em Maringá, no Paraná, e nas atividades em campos experimentais e unidades demonstrativas em escolas e jardins de infância em Santarém, bem como capacitações aos produtores tem cada vez mais indicando um fluxo contínuo de conhecimento gerado indicando o interesse no uso de tecnologias de baixo custo e reafirmando o compromisso de expandir modelos de irrigação sustentável.

### **5.9 Descrição socioeconômica dos agricultores do Vale do Infulene que potencializa a irrigação com potes de argila**

O estudo evidência que predominantemente os produtores de base familiar no Vale do Infulene tem a agricultura como a sua única fonte de rendimento, a realidade descrita nesta região do país não se difere com a realidade de do país, onde a maioria dos produtores são de base familiar e têm na agricultura a sua principal atividade e única fonte de renda familiar.

No contexto moçambicano em geral, os resultados divulgados pelo Inquérito Agrário Integrado (2021) indicaram que o país registou um aumento de área de produção de 3.669.917 ha em 2017 para 5.227.877 ha em 2020, tendo atualmente 4 167 702 pequenas explorações agrícolas, 93 183 médias explorações e 873 grandes explorações. Considerando o potencial total do país, a área avaliada em estudo representa  $2.56.10^{-05}$  da área total das pequenas explorações. Destaca-se que Moçambique é um país fortemente agrícola com cerca de 65% da população vivendo na zona rural tendo a agricultura como a sua principal atividade econômica (INE, 2021). Apesar desse aumento, são inúmeros os desafios associados á produção familiar e a vida dos produtores, desde a provisão e acesso de insumos agrícolas de qualidade, assistência técnica, e os efeitos na sazonalidade climática, vias de acesso e competitividade dos produtos no mercado e preços a desfavor do pequeno produtor.

A caracterização dos produtores que compuseram a amostra foi descrita na Tabela 4. Observa-se que a maioria dos produtores provinham da zona sul de Moçambique, sendo que 46% da Cidade de Maputo, 28% da província de Inhambane e 26% da província de Gaza. Em termos de gênero 68% representam o sexo masculino e 32% o sexo feminino. Em pesquisas

---

<sup>4</sup> Segurança hídrica não se refere apenas à quantidade de água disponível, envolve diversos aspectos relacionados à água, incluindo a questão da escassez, do excesso e da potabilidade da água. Além disso, se relaciona com a mitigação dos riscos relacionados à água, como secas e enchentes, também se relaciona com a resolução de conflitos em torno de recursos hídricos compartilhados entre os vários atores interessados no uso de um recurso escasso (Van Beek e Arriens, 2014).

similares, como as de Anjo (2015), Carrilho et al. (2016) e Tomo (2018) têm apontando uma tendência elevada de participação masculina em atividades de pesquisas na agricultura.

**Tabela 4** Descrição do grupo de produtores de base familiar entrevistados

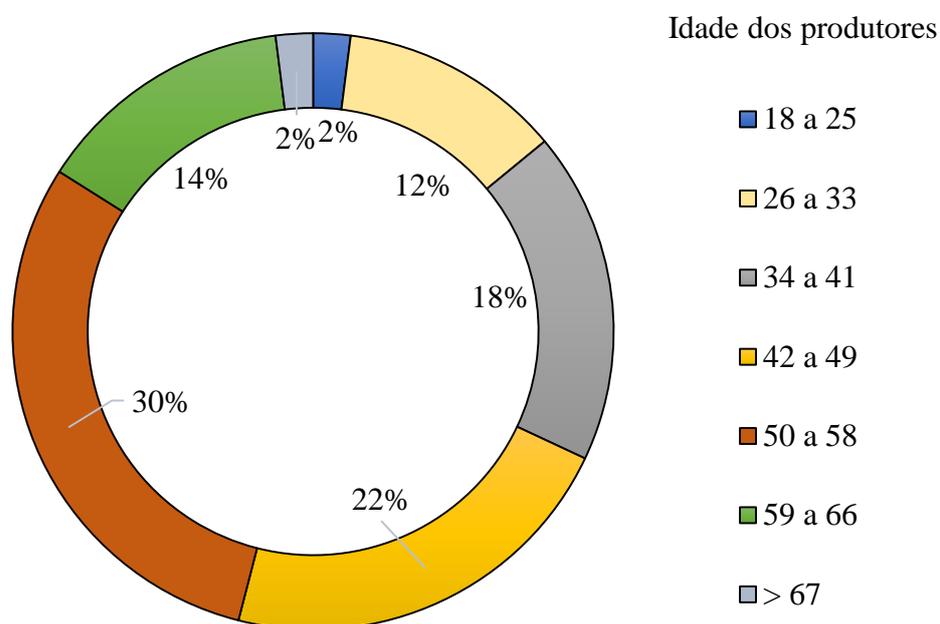
Local de origem	Frequência ( <i>n</i> )	Porcentagem (%)	Homens	Mulheres
Maputo	23	46	14	9
Gaza	13	26	7	6
Inhambane	14	28	13	1
Total	50	100	34	16

Fonte: autora (2023)

Apesar do estudo de Tomo (2018) apontar que a participação masculina em 55%, nota-se que esses percentuais foram superiores, evidenciando que, predominantemente a produção agrícola é atribuída aos agricultores e 45% da produção vem do trabalho das mulheres na agricultura. Um fato realmente observado durante o preenchimento dos questionários foi a participação feminina, que apesar do seu engajamento diário nas atividades de campo, percebeu-se que os dados estatísticos sobre a participação masculina podem estar superestimados, em função do paradigma cultural onde quem tem a responsabilidade de responder aos questionários serem sempre os chefes de família.

Outro resultado que merece atenção no Vale do Infulene refere-se a faixa etária dos agricultores. Nota-se na Figura 31 que 30% dos entrevistados estão com idade entre 50 a 58 anos, seguidos por 22% com idade superior a 67 anos e 14% entre 59 a 66 anos, indicando que esses três grupos contabilizam 66% com idade superior a 50 anos. Os resultados da tese sugerem maior atenção a esta variável porque os horticultores nessa faixa etária, irrigando manualmente tendem a dedicar grande parte da força de trabalho na atividade de suprimento hídrico às plantas. Existem outros sistemas de irrigação que também poderiam ser adotados, conforme Namara et al. (2005) ao testarem microirrigação para avaliar a sustentabilidade quanto ao uso dos recursos hídricos subterrâneos e ganhos em produtividade, na Índia. Esses autores verificaram que a mudança de métodos tradicionais proporcionou maior rendimento nos cultivos, economia de água e satisfação dos agricultores pela adoção do sistema de irrigação.

**Figura 31** Faixa etária dos agricultores entrevistados na área de estudo em Moçambique

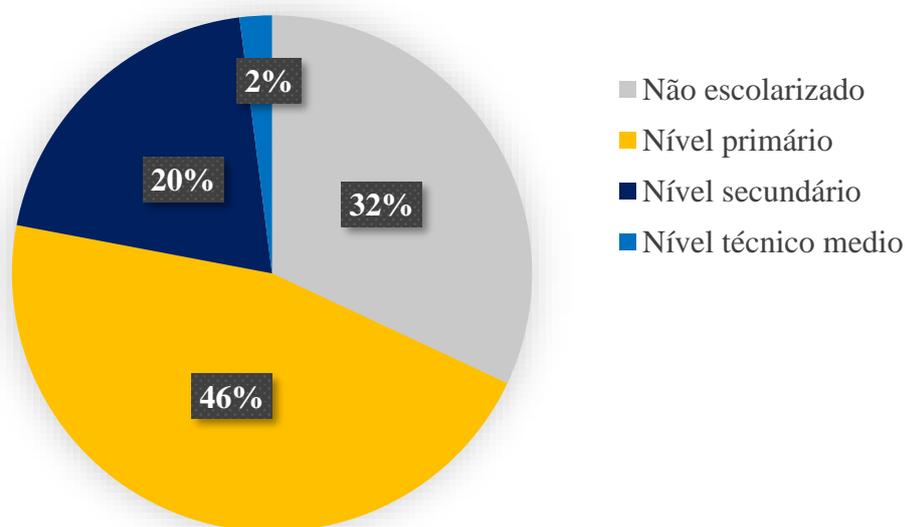


Fonte: Autoria própria (2023)

Resultados similares foram constatados por Ahlert e Chemin (2010) quando em sua pesquisa sobre a sucessão familiar nas propriedades rurais da região do Vale do Taquari, local fortemente influenciado pelo setor agroindustrial, os filhos dos agricultores buscam, cada vez mais, modos de vida alternativos no meio urbano. Assim sendo, as ações de pesquisa-ensino-extensão e as políticas públicas devem direcionar suas iniciativas aos agricultores que estão na faixa etária entre 34 a 58 anos, pois juntos totalizaram 70% dos agricultores que dedicam o seu tempo ao cultivo agrícolas e consolidar tecnologias que despertem interesse da camada mais jovem.

Em relação ao nível de escolaridade, observa-se na Figura 32 diferenças entre os anos de escolarização entre os produtores. Observa-se que 46 % dos produtores tinham o nível primário, no contexto de moçambique esta escolaridade corresponde a 1 a 5 anos de ensino formal. O segundo grupo corresponde aos produtores sem educação formal com um percentual de 32% e dos agricultores com ensino secundário com 20%, e 2% dos produtores com nível técnico médio. A percentagem de agricultores sem educação formal é inferior aos achados de Fallah et al. (2012) que constataram que quase metade da amostra obtida em estudos sobre o perfil de agricultores de base familiar (43%) não era escolarizada e superior a Kumar et al. (2011) que continha 14,3% sem escolarização formal.

**Figura 32** Grau de escolarização entre os irrigantes no Vale do Infulene



Fonte: Autorial própria (2023)

Assim, apenas agricultores de maior idade e com experiência prática na agricultura vivenciaram o dia a dia no vale do Infulene, o que propicia a uma maior atenção na divulgação de pesquisas científicas e modelos de capacitação sobre o gerenciamento dos recursos hídricos e de tecnologias agrícolas, havendo a necessidade de adequá-las a realidade do público alvo para que haja maior compreensão e adoção de práticas sustentáveis.

As culturas identificadas no estudo, são a base da renda do produtor no Infulene, que são maioritariamente hortícolas, especificamente: alface, a couve, a beterraba, a cenoura, o pimentão e algumas ervas de cheiro (e.g. coentro, salsa, hortelã e cebolinha, espinafre). No entanto, é de se notar que o cultivo de hortícolas na região têm sido preferenciais aos produtores.

Destacam-se ainda, algumas razões para a escolha da cultura, sendo que a maior motivação foi o aumento na procura hortícolas no mercado local, posto que assim as hortícolas têm mais facilidade de comercialização e estas vendas têm contribuído para redução de perdas pós-colheita. Esses resultados corroboram com Philippi (2015) e Lock et al. (2005) que afirmam que as hortaliças são de extrema importância e têm se tornado preferenciais para produtores de base familiar tanto para as áreas urbanas ou peri urbanas, porque para além de fazer parte da dieta alimentar da grande maioria da população são comercializadas em diferentes mercados para diferentes tipos de consumidores. Para além de seu valor econômico, historicamente o seu consumo em quantidades adequadas pode chegar a reduzir os riscos de doenças, e em termos nutricionais têm sido fortemente estimulados o seu consumo por serem

ainda fontes de micronutrientes, carboidratos, fibras, sais minerais, compostos funcionais e vitaminas, principalmente o betacaroteno e a vitamina C (Nichols e Lederer 1991).

Contudo, associado ao cultivo de hortícolas, existe um aumento da pressão sobre os recursos hídricos e ao uso de agrotóxicos para melhorar a produção e padronização do produto final, sendo refletidos na horticultura de base familiar. Assim, os problemas causados ao meio ambiente não estão ligados apenas à atividade agropecuária e a ação de natureza antrópica, mas também com a responsabilidade do ser humano quando não adota práticas de utilização racional e planejada dos recursos naturais (Ribeiro et al., 2006).

Ademais, a ausência de processamento de produtos tem estimulado a comercialização no local de produção ou ao envio para mercados próximos a cidade de Maputo. Além disso, 32% dos produtores consideram que têm escolhido produzir essas culturas, porque assim conseguem aceder facilmente a novos mercados. Outro grupo que perfaz 24% da amostra afirma que tem preferido produzir culturas por serem convenientes em termos de acesso a insumos, domínio no processo produtivo (experiência técnica) e 10% afirma que seleciona devido ao ciclo curto das culturas porque lhes permite ter duas ou três colheitas por ano, principalmente nos períodos de escassez do produto no mercado.

Vale ressaltar que Macuácuá (2005) mostrou que há anos o bairro de Infulene notabilizou-se na prática de agricultura de subsistência em pequenas unidades, associações agrícolas ou cooperativas agropecuárias, mas têm ocorrido uma tendência gradativa de substituição de culturas tais como feijão manteiga e nhemba, oleaginosas (amendoim), tubérculos (principalmente batata-doce e mandioca) por hortícolas e ervas de cheiro.

Considerando o todo o processo produtivo, a irrigação continua a ser determinante para o rendimento das culturas, para suprir as necessidades hídricas das plantas em diferentes estádios de crescimento. Segundo os produtores, a atividade agrícola no vale do Infulene é maioritariamente praticada pelo método irrigação manual, com o auxílio de um regador que em média tem capacidade para 7 a 10 litros, conforme ilustra a Figura 33, assim são despendidos em média 3 horas por dia para irrigar todos os canteiros.

**Figura 33** Irrigação manual sendo realizada pelos produtores no Vale do Infulene

Valetas de irrigação criadas próximas aos campos produtivos (A); Produtores a irrigar seus campos de hortícolas, método manual communmente no vale do Infulene (B-D)



A



B



C



D

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao longo do ciclo das culturas, os agricultores identificaram que existem épocas mais propensas a irrigar sem comprometer o crescimento vegetativo, enquanto em períodos de estiagem o processo de produção agrícola acarreta muito mais cuidado para que não hajam perdas acentuadas no rendimento, tendo 36% da amostra tendo considerado que a estação seca é a mais difícil para irrigar as culturas devido a deficiência hídrica e ao processo de intrusão salina resultante tanto da adubação irregular e como da invasão da água do mar, sendo que ainda é considerada a época do ano que demanda por mais turnos de rega. Contrariamente, 34% dos produtores consideram desafiador irrigar na estação chuvosa, porque devido à falta de reservatórios de água, criando alagamento das culturas e fraco rendimento. Independentemente

da estação (seca ou chuvosa) foi notório que a maioria dos produtores preferencialmente optam por irrigar nas primeiras horas do dia. Vale ressaltar que na estação seca as regas são contínuas e com intervalos curtos ao longo do dia.

O planejamento agrícola no Vale do Infulene têm sido um dos grandes desafios enfrentados pelos produtores devido a gestão dos recursos hídricos, fez-se o levantamento das dificuldades enfrentadas pelos produtores tendo a considerar: (1) a falta de reservatórios de água que permitam o seu armazenamento para usos futuros (32%); (2) em tempo chuvoso o alagamento dos campos produtivos dificultando assim a produção (28%). Outro desafio identificado no gerenciamento da produção é a falta de limpeza nos canais de vazão dificultando a drenagem das águas. Os sistemas hídricos superficiais e subterrâneos vêm se mostrando sobrecarregados em diversas regiões no mundo, principalmente devido ao aumento da demanda por água, ocasionado pelo crescimento populacional e econômico (Ross, 2018, Tabari et al., 2014).

As águas subterrâneas são confiáveis, de alta qualidade e de acesso livre, representando uma fonte de água doce que permite aos agricultores fazerem frente aos riscos de produção associados a eventos climáticos extremos e variabilidade climática. Globalmente, mais de 300 milhões de hectares foram irrigados com água subterrânea (Dubois, 2011). Apoiando a cultura e os sistemas de produção de alimentos com estimativa de economia anual (Shah et al. 2007).

Segundo Herraiz (2009) a partir de meados do ano 2000 a utilização de água subterrânea aumentou de maneira rápida e intensa, porém sem o acompanhamento técnico adequado; estima-se que aproximadamente 20% dos aquíferos mundiais estejam atualmente superexplorados (Gleeson et al., 2012). No entanto, o desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos para irrigação muitas vezes resulta em taxas de absorção totais que excedem as taxas naturais de longo prazo de reabastecimento de água subterrânea (Breña-Naranjo et al., 2014, Scanlon et al., 2006).

No entanto, há um consenso de que temperaturas mais altas e aumentos resultantes nas taxas potenciais de evapotranspiração, aumentarão os requisitos de água de irrigação total em grande parte a área agrícola global (Döll e Siebert, 2002 e Wada et al., (2013). A intensidade e a frequência de temperatura extremas e precipitação, tendem a aumentar no futuro como resultado do aquecimento do sistema climático (Intergovernmental panel on climate Change (2013).

Esses eventos extremos, como ondas de calor e secas, podem ter um impacto negativo na produtividade da lavoura e espera-se que aumente o esgotamento das águas

subterrâneas tanto pela agricultura e outros setores (Long, 2013; Scanlon et al., 2012). O declínio da disponibilidade de água subterrânea, e a variabilidade e a mudança climática, podem ter ramificações significativas para a capacidade dos agricultores em continuar a gerenciar os riscos de produção e garantir à sociedade a segurança alimentar.

### **5.9.1 Fatores associados a água de irrigação na óptica dos produtores agrícolas de base familiar no Vale do Infulene em Maputo**

Os produtores consideram que a água disponível no vale do Infulene consegue suprir as suas necessidades básicas de seu consumo atual, mas deixando um vácuo sobre o consumo futuro. A visão dos produtores é mais direcionada a presença de recursos hídricos a curto prazo, assumindo que futuramente as técnicas de manejo usadas não causarão danos às bacias hidrográficas locais.

Ademais, os produtores não estimaram os custos associados ao consumo de água a maioria ainda depende da água do rio para irrigar, sendo difícil estimar os custos e a quantidade diária usada para irrigar. Por isso, foi destacado na Tabela 5 que a maioria dos produtores não sabe responder sobre os custos, tanto sobre o pagamento ao fornecedor de água, e também sobre o custo de instalação do sistema, porque a água ainda é retirada na fonte de captação e partilhada por todos os usuários sem outorga.

Segundo Villar (2016) limitações na outorga podem gerar implicações na gestão e refletem as falhas que levaram a degradação das águas superficiais, sendo agravada pelo seu caráter oculto, pela irreversibilidade dos danos causados e pela exploração clandestina, que permite a apropriação privada dessas águas. A atual crise hídrica pode até ser amenizada no curto prazo pelos aquíferos, porém sua superação vai além do problema de escassez e da busca por novas fontes. Seu enfrentamento exige que se supere a visão restrita de “demanda versus disponibilidade” e se busque uma mudança na racionalidade que embasa a apropriação dos recursos hídricos.

**Tabela 5** Indicadores qualitativos sobre a visão dos produtores quanto aos fatores ambientais e econômicos relacionados ao uso da água na agricultura

Condições	Baixo	Razoável	Alto	Não soube responder
Custo de instalação do sistema de irrigação	16	28	26	30
Valor do produto	32	6	24	38
Sedimentos	18	26	50	6
Salinidade	16	26	56	2
Turbidez	18	22	50	10
Proteção de nascentes	50	50	0	0

Fonte: Autoria própria (2023)

Na ótica dos produtores existe a presença (alta) de sedimentos, salinidade e turbidez na água, mas consideram que os seus efeitos são sentidos na época mais seca, porque é nesta altura que a capacidade de recarga do aquífero é muito baixa, pela falta de manutenção da vegetação nas nascentes, daí que nessa altura ficou evidente o uso de uma prática comum, que é a abertura de valetas de conduta, como forma de desvio dos cursos da água para criar mais proximidade aos campos de produção, mas ainda assim interfere negativamente no rendimento das culturas.

Os produtores evidenciaram que têm usado alguns defensivos agrícolas e, porque encarece os custos de produção, os defensivos são usados apenas quando não fazem a rotação de culturas entre as safras, para evitar a propagação de doenças. Posto isto, infere-se que o uso de defensivos agrícolas e fertilizantes têm sido mais comum, embora os produtores não consideram como um fator adicional a pressão sobre a contaminação hídrica. Entretanto alguns estudos têm mostrado que a poluição por misturas de pesticidas é um problema global emergente porque as misturas podem provocar toxicidade sinérgica em organismos não alvos, sob exposições agudas e crônicas (Maloney et al., 2018; Pape-Lindstrom e Lydy, 1997).

Os pesticidas podem ser transportados para águas superficiais e subterrâneas através do escoamento e da infiltração, causando poluição nos corpos d'água e, assim, reduzindo a usabilidade dos recursos hídricos. Por mapeamento sobre o risco de pesticidas e a contagem de ingredientes ativo no banco de dados de risco de água em *Aqueduct*. Gassert et al. (2014) refere ainda que pode-se identificar que globalmente 62 milhões de km<sup>2</sup> de terras agrícolas em regiões que sofrem alta variabilidade e um abastecimento de água limitado podendo ainda enfrentar um alto risco de poluição por misturas da água aos pesticidas durante as práticas agrícolas, sendo que 20,1% deste comportamento foi evidentemente a baixa nos países em vias de desenvolvimento.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados referentes ao uso da água pelos produtores e as principais medidas relacionadas ao seu manejo.

**Tabela 6** Informações dos produtores sobre o uso da água em experiências diárias

	Sim	Não	Não soube responder
Usa fertilizantes e defensivos agrícolas	64	36	0
Pratica agricultura irrigada	100	0	0
Partilha experiências sobre o uso e Gerenciamento dos recursos hídricos	52	48	0
Sente que o sistema de irrigação que usa contribui para o aumento da erosão	58	40	2
Faz aproveitamento da água para irrigar	16	82	2
Água após irrigação é eficaz	50	50	
Sub-exploração dos recursos hídricos	54	28	18

Fonte: Autoria própria (2023)

É possível notar que 64% dos produtores fazem uso dos fertilizantes e defensivos agrícolas sem tomar em consideração ao resíduo ou nenhum mecanismo de proteção ou tratamento da água, a fim de retorná-la com melhor qualidade para a bacia hidrográfica. As experiências sobre o uso da água são compartilhadas entre os usuários indicando uma sincronização entre as atividades no vale. Apesar de considerar que a quantidade de água para a irrigação seja boa, os produtores consideram que o método atual tem contribuído para abertura de crateras e para o aumento das áreas erosivas. No vale do Infulene, ainda não existem iniciativas de reaproveitamento da água pluvial por parte dos produtores familiares.

O resultado da análise fatorial descritos na Tabela 7 mostrou que das 22 variáveis selecionadas, foram extraídos 4 fatores que se designam como indicadores econômicos, sociais e ambientais, por permitir sua influencia ser capaz de mudanças no gerenciamento hídrico caso sejam considerados tais fatores no planejamento da agricultura irrigada. Essas variáveis apresentaram valores significativos para análise, ou seja,  $x > 1$ .

**Tabela 7** Extração de variáveis em fatores

<b>Itens questionados para análise</b>	<b>n° Itens</b>	<b>Fatores extraídos</b>	<b>% da variância explicada</b>	<b>KMO</b>	<b>sig</b>
A qualidade da água disponibilizada (A)	6	Ambientais	25.277	0.858	0.00
Capacidade de recarga do aquífero(A)					
Tratamento de água (A)					
Reaproveitamento da água (A)					
Proteção de áreas e espécies sensíveis na bacia (A)					
A quantidade da água local (A)					
Percepção de turbidez (T)	7	Técnicos	13.583	0.738	0.00
Percepção de salinidade (T)					
Mecanismos de vazão (T)					
Tipo de equipamentos usados (T)					
Abertura de valas (T)					
Absorção de água pelas plantas (T)					
Erosão e lixiviação de nutrientes (T)	6	Econômico	12.103	0.704	0.00
A quantidade da água local (E)					
Custo pago pela instalação de sistema de rega (E)					
Fonte de energia usado para irrigar (E)					
Custo pago ao fornecedor de água (E)					
Opções de oferta hídrica (E)					
Capacidade de Armazenamento (E)	3	Sociais	16.591	0.793	0.00
Partilha de técnicas conservacionistas na comunidade (S)					
Cursos e formações (S)					
Atividades comunitárias de sensibilização (S)					

\* Indicadores ambientais (A), Sociais (S), Econômicos (E), Técnicos (T)

Fonte: Autoria própria (2023)

As variáveis relacionadas no estudo e extraídas em fatores ambientais foram: (1) a qualidade de água disponibilizada aos produtores para irrigação; (2) capacidade de recarga do aquífero; (3) formas de tratamento da água; (4) reaproveitamento da água; (5) mecanismos de proteção em áreas sensíveis na bacia, (6) quantidade de água disponível. Portanto, as variáveis ambientais relacionadas, foram explicadas em 1 único fator com uma variância de 25,27%. Assim o fator ambiental teve maior percentual da variância sobre as percepções do produtor sobre a qualidade, e práticas de conservação e a reutilização dos recursos hídricos.

Contudo, esse fator pode ser determinante para melhorar a forma como os produtores lidam com os recursos hídricos locais, podendo ser um forte aliado para melhoria da qualidade do produto, bem como: (i) a redução dos efluentes lançados aos mananciais, (ii) e redução da impermeabilização do solo sendo capaz de aumentar assim a infiltração, (iii) e melhoria da flora e fauna em ecossistemas aquáticos e estabelecimento de novos habitats, (iv) e melhoria da camada fértil do solo, (v) e minimização do uso da fertirrigação, sendo que poderá ser melhorado o processo de contaminação por pragas e doenças.

As variáveis sociais correlacionadas no estudo foram: (1) a partilha de técnicas conservacionistas sobre os recursos hídricos na comunidade, (2) os mecanismos de partilha de conhecimento através de cursos e formações, e (3) atividades comunitárias de sensibilização com variância explicada de 16,59%. O Fator social gerado determina a percepção dos produtores sobre a capacitação e práticas comuns na comunidade para o gerenciamento das fontes hídricas locais. Assim, ele evidencia a importância de partilha de capacitações técnicas no uso, gestão e racionalização da irrigação bem como na melhoria do empoderamento social dos produtores e minimização da vulnerabilidade.

As variáveis técnicas correlacionadas no estudo foram as percepções sobre (1) a turbidez, (2) a salinidade, (3) os mecanismos de vazão, (4) os equipamentos usados, método de manejo e gestão, (5) o tempo de absorção de água e, (6) a erosão e lixiviação de nutrientes, (7) abertura de valas, estes itens foram correlacionados e obteve-se um fator técnico com uma variância de 13,58%. A contribuição do fator técnico demonstra a efetividade dos métodos empregues para irrigar e a melhoria nesse fator pode contribuir mudanças nas técnicas produtivas, como a adoção consciente da quantidade de água, e de práticas conservacionistas do solo podendo estimular ao plantio direto, a proteção de nascentes, e a rotação de culturas, a adubação e a calagem adequada.

A análise correlacionou variáveis que formaram um único fator econômico a partir de indicadores como (1) quantidade de água outorgada, (2) custo pago pela instalação do sistema de rega, (3) fonte de energia usado para irrigar, (4) opções de oferta hídrica e, (5)

capacidade de armazenamento, (6) Custo de energia usado para irrigar. A conjugação desses indicadores econômicos obteve uma variância de 12,10%. O fator gerado indica a percepção dos produtores sobre os indicadores de custo ao produtor identificado tanto na aquisição do sistema de irrigação tanto na outorga da água no contexto dos produtores no Vale do Infulene o gerenciamento da irrigação para além de promover o uso eficiente da água pode reduzir o custo de energia, água e aumentar a produtividade da cultura sem comprometer a estabilização do preço no mercado. Sendo que com base nisso pode se facilitar a produção na safra e entre safras. Na Tabela 8 são mostrados os resultados dos testes KMO<sup>5</sup> e do teste de Bartlett<sup>6</sup> premissas importantes na análise factorial porque os dois testes indicam a adequação de seus dados para detecção de estrutura das variáveis em factores.

**Tabela 8** Resultado do coeficiente KMO e Bartlett test

KMO and Bartlett's Test	
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.686
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square
	70.562
	Df
	36
	Sig.
	.001

Fonte: Aatoria própria (2023)

O Coeficiente de Confiabilidade (CR) foi usado para corrigir os possíveis erros residuais entre os factores como premissa todos os valores para que estejam em nível de erro aceitável devem estar acima de de 0,500, após a realização do cálculo com base em Raykov (1997). O resultado da análise de confiabilidade mostrou que os factores usados estão dentro da faixa aceitável onde obteve-se os  $CR_{F1} = 0.800$ ,  $CR_{F2} = 0.748$ ,  $CR_{F3} = 0.775$  e  $CR_{F4} = 0.754$  respectivamente, mostrando que todos os coeficientes foram superiores ao valor de referência.

$$CR = \frac{(\sum \lambda_i)^2}{(\sum \lambda_i)^2 + (\sum \epsilon_i)} \quad (4)$$

Onde:  $\lambda$  (lambda) é o fator de carregamento padronizado para o item  $i$  e  $\epsilon$  é a respectiva variância do erro para o item  $i$ . A variância do erro ( $\epsilon$ ) é estimada com base no valor do carregamento padronizado ( $\lambda$ ) como:

$$\epsilon_i = 1 - \lambda_i^2 \quad (5)$$

<sup>5</sup> Teste de Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequação (KMO) é uma estatística que indica a proporção de variância em suas variáveis que pode ser causada por factores subjacentes. Valores altos (perto de 1,0) geralmente indicam que uma análise de fator pode ser útil com seus dados.

<sup>6</sup> O teste de esfericidade de Bartlett testa a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz de identidade, o que indica que suas variáveis estão desrelacionadas e, portanto, inadequadas para a detecção de estrutura. Os valores pequenos (menos de 0,05) do nível de significância indicam que uma análise de fator pode ser útil com seus dados.

O valor do item r-quadrado é a porcentagem da variância do item  $i$ , explicada pela variável latente. É estimado com base no valor do carregamento padronizado ( $\lambda$ ) como:

$$r^2 = \lambda_i^2 = 1 - \epsilon_i \quad (6)$$

### 5.10 Comparação entre as tecnologias de manejo da irrigação convencional e de potes de argila

A agricultura familiar requer recursos tecnológicos que direcionam ao aumento da produtividade, a pesquisa, mas principalmente a sustentabilidade nas práticas agrícolas e a conservação dos recursos hídricos. Nessa perspectiva, o estudo fez uma diferenciação sobre a irrigação automatizada convencional designada por pivo central e as características levantadas sobre a irrigação com potes de argila, com vista a oferecer suporte a tomada de decisão com o objetivo de reduzir o desperdício de água e oferecer alternativas para melhorar a agricultura familiar. Essas diferenças são apresentadas no Quadro 12 onde são feitas o levantamento das vantagens e as desvantagens identificadas nesta pesquisa, sobre os dois dos sistemas de irrigação.

**Quadro 12** Comparação entre aspectos técnicos sobre as tecnologias de irrigação convencional e com potes de argila

Convencional	Potes de argila
Vantagens	
O solo utilizado para irrigação não deve ser compactado, pois se for o caso a compactação dificulta a infiltração da água no solo e causa perda de água	Identificou-se que esta tecnologia permite o desenvolvimento agrícola em terras áridas e solos salobres. O uso dela pode minimizar a erosão do solo. Não necessita que o solo não seja compactado.
É necessário que a área escolhida tenha uma fonte hídrica para fornecimento da água de irrigação durante todo o ciclo de cultivo.	É uma tecnologia de baixo custo que reaproveita a água da chuva.
Faz-se necessário analisar a água disponível para conhecer sua qualidade, tendo em vista que águas de qualidades inferiores podem causar problemas como salinização do solo e/ou obstrução dos emissores utilizados, diminuindo a eficiência do sistema.	As perdas de água por infiltração são reduzidas, sendo também de fácil implementação e manuseio
É necessário que o técnico faça o pedido de outorga para legalização do uso da água.	Facilmente a outorga da água no pote ser feita através da contabilização do consumo de água nos potes;
É importante que a área não esteja muito distante da fonte de água, evitando com isso o investimento em tubulações e conexões.	Este sistema não causa impactos ambientais; as infestantes podem ser melhor controladas, gerindo o seu acesso à água. Pode reduzir o uso de fertilizantes
Quando a fonte de água for um rio deve-se adotar a distância entre a suas margens. i. Distância entre as margens < (10 m) a área tem que estar a 30m do rio. ii. Distância entre as margens > (10m) a área tem que estar a 50m do rio. iii. Distância entre as margens > (50m) a área tem que estar a 100m do rio( Santos et al. 2017))	Pode facilmente ser empregue em hortas familiares e na horticultura e floricultura. Os danos aos potes podem ser minimizados uma vez que a maior parte do equipamento está sob a superfície do solo. Pode ser usado para estabelecer plantas em encostas íngremes e áreas de drenagem rápida onde a irrigação convencional é impraticável.

Fonte: Autoria própria (2023)

**Quadro 12** Comparação entre aspetos técnicos sobre as tecnologias de irrigação convencional e com potes de argila (continuação)

Convencional	Potes de argila
Desvantagens	
A aplicação de água é influenciada pela ação do vento. A água aplicada acima da capacidade de retenção do solo será lixiviada e poderá levar fertilizantes e agrotóxicos para os reservatórios subterrâneos, causando poluição do lençol freático.	Podem quebrar se caírem durante a instalação. O acúmulo da água depende da chuva.
Dependendo da sensibilidade da cultura, o impacto das gotas pode derrubar flores e danificar folhas, influenciando diretamente na produção.	Se deixado seco por muito tempo, os poros podem entupir devido ao acúmulo de sal e precipitação.
Cria condições favoráveis para o desenvolvimento de doenças causadas por fungos.	As taxas de descarga podem variar devido à má mistura de areia e argila usada durante a fabricação de vasos de barro que podem não garantir uma boa porosidade que dará vazão adequada de água para atender à demanda de água das plantas.
Apresenta muitos problemas de entupimento.	Solos muito pesados podem não afetar uma boa frente úmida. Solos de textura média, como areia argilosa, franco-argilos são bons.
Exige a construção de cabeçal de controle e sistema de filtragem eficientes.	Quando a porosidade diminui progressivamente, torna-se difícil lidar com as altas necessidades de água da cultura.
Alto custo de implantação e exige uma rotina rigorosa de manutenção do sistema (Santos et al. 2017)	

Fonte: Autoria própria (2023)

### 5.11 Potencial das tecnologias de irrigação com potes de argila e sua viabilidade nas condições de Vale do Infulene

Para o contexto dos produtores no Vale do Infulene, observou-se com as respostas no questionário que existem diferenças significativas na quantidade de água a administrar no processo de irrigação durante o ano (Figura 34). De acordo com a classificação na escala de *Likert* em que 1 corresponde a nenhuma irrigação, 2 ligeira, 3 intermédia, 4 alta e 5 Excessiva, as médias registradas indicam que os meses de maio ( $X=4,0$ ), junho ( $X=4,0$ ) e dezembro ( $X=5,0$ ), tiveram a média superior, tendo sido apontados como os meses de maior atenção aos turnos de rega. Nessa altura, existe uma maior necessidade de irrigação pela dificuldade de gerenciamento da água.

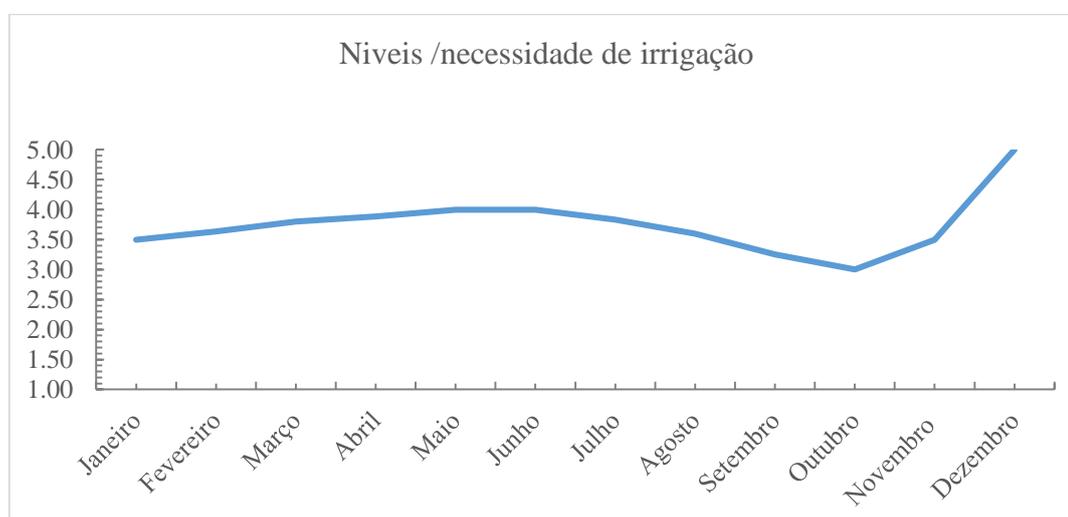
Embora essa dificuldade seja sentida em diferentes estações, ou seja, pico do inverno (entre maio e junho) e pico do verão (dezembro), esses resultados indicam uma redobrada atenção por parte dos planejadotes agrícolas ao escolher o melhor sistema de

irrigação para o contexto local, uma vez que em cada estação do ano demanda um tipo de gestão hídrica, que implica em saber lidar com desafios de cada época. Com as características descritas pelo gerenciamento da água usando irrigação por potes de argila pode-se oferecer uma solução para a crise de água iminente que ajudaria trazer cada vez mais economicidade no consumo de água para reutilizá-la nessas épocas de escassez.

Além disso, constatou-se que, no Vale do Infulene em Moçambique, a estação quente e chuvosa inicia em outubro, e apesar do mês de dezembro a ter um histórico médio de precipitação variando entre 96 a 115 mm, ainda assim os produtores têm registrado excessiva dificuldade no gerenciamento da irrigação, motivados pela intrusão da água do mar, subida de efluentes e, por vezes, enchentes em campo de produção. Já nos meses do maio e junho, que são geralmente os meses mais frios do ano e com menor pluviosidade (em mm), requerem mais turnos de rega. Nesta altura do ano, mais escavações acontecem para deslocar os cursos de água rumo aos campos produtivos. Assim, pode-se considerar que as estratégias de reposição hídrica podem ser uma alternativa viável para lidar com os desafios enfrentados pelos produtores na época de baixa pluviosidade.

Com base nos resultados de sucesso enunciados nos estudos de Chingura (1994), Mondal (1974, 1978) e Stein (1997) a irrigação com potes de argila pode ser fortemente recomendada uma vez que minimizou os efeitos da sazonalidade climática em regiões áridas em países como Irã, Índia, Países africanos e sul-americanos. O método foi usado para irrigar melancias na Índia e Paquistão (Mondal, 1974; Tripathi et al., 2017), hortícolas no Brasil, Alemanha e Indonésia (Stein, 1997), e milho, tomate e quiabo no Zimbábue (Batchelor et al.; 1996) culturas essas que continuam sendo as de interesse ao produtor no Infulene.

**Figura 34** Classificação dos níveis de irrigação ao longo dos meses no ano

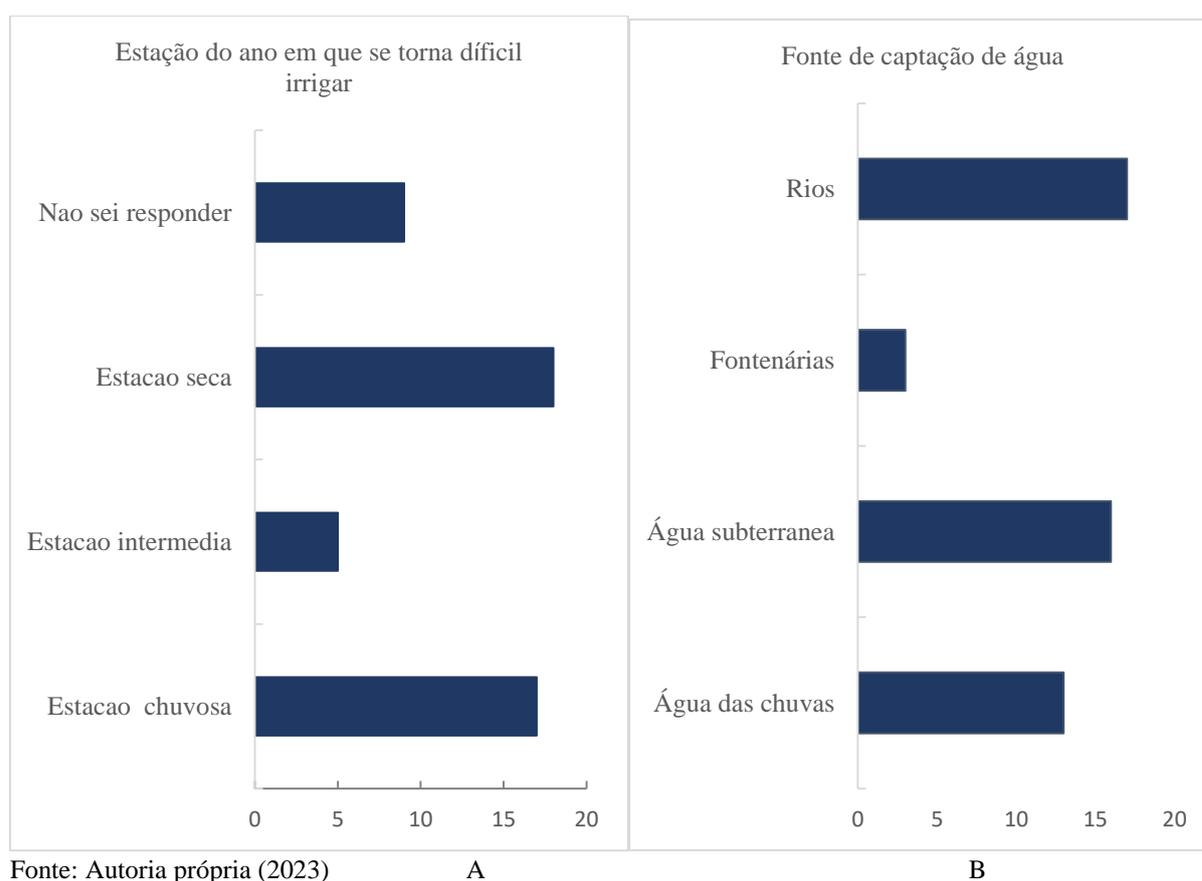


Fonte: Autoria própria (2023)

Os produtores confirmam o impacto que a agricultura irrigada tem em suas vidas e o seu contributo para o desempenho positivo em sua atividade, sendo que quando o recurso hídrico é escasso interfere diretamente em seus rendimentos. A Figura 35 A mostra que mesmo ao longo do ano, existem diferenças na disponibilidade hídrica e na capacidade de gestão. De se salientar ainda que irrigar na época do ano mais seca é mais difícil. E o gráfico ilustrado na Figura 35 B evidenciam as respostas dos agricultores quanto as três principais fontes locais de captação de água para irrigar. a bacia hidrográfica do rio Infulene, a água subterrânea e a água pluvial.

**Figura 35** Classificação produtores sobre os níveis de dificuldade em irrigar ao longo do ano no Vale do Infulene

(A) Estação do ano mais difícil de irrigar; (B) Fontes de captação de água



Assim sendo, as condições apresentadas indicam a possibilidade de sucesso do uso da reposição hídrica para auxiliar estrategicamente aos produtores a lidarem com a gestão da água na irrigação. Segundo Bainbridge (2001) e Mondal (1978) reforçaram que em condições

agroclimatericas similares, o uso de potes de argila por ser usual e de fácil implementação , pode ter grande potencial para economizar água em suas fontes de captação.

No Vale do Infulene constatou-se que apesar dos benefícios relacionados à agricultura irrigada, muitos agricultores ainda não adotam qualquer estratégia de manejo de água da irrigação, em função dos seguintes aspectos: (i) carência de informações meteorológicas; (ii) desconhecimento da capacidade de retenção de água no solo; (iii) baixa prioridade do manejo da irrigação em relação às demais atividades agrícolas (e.g. calendário de semeadura/colheita, adubação, aplicação de defensivos, entre outros); (iv) falta de informação/consciência ambiental e; (v) falta de assistência técnica especializada.

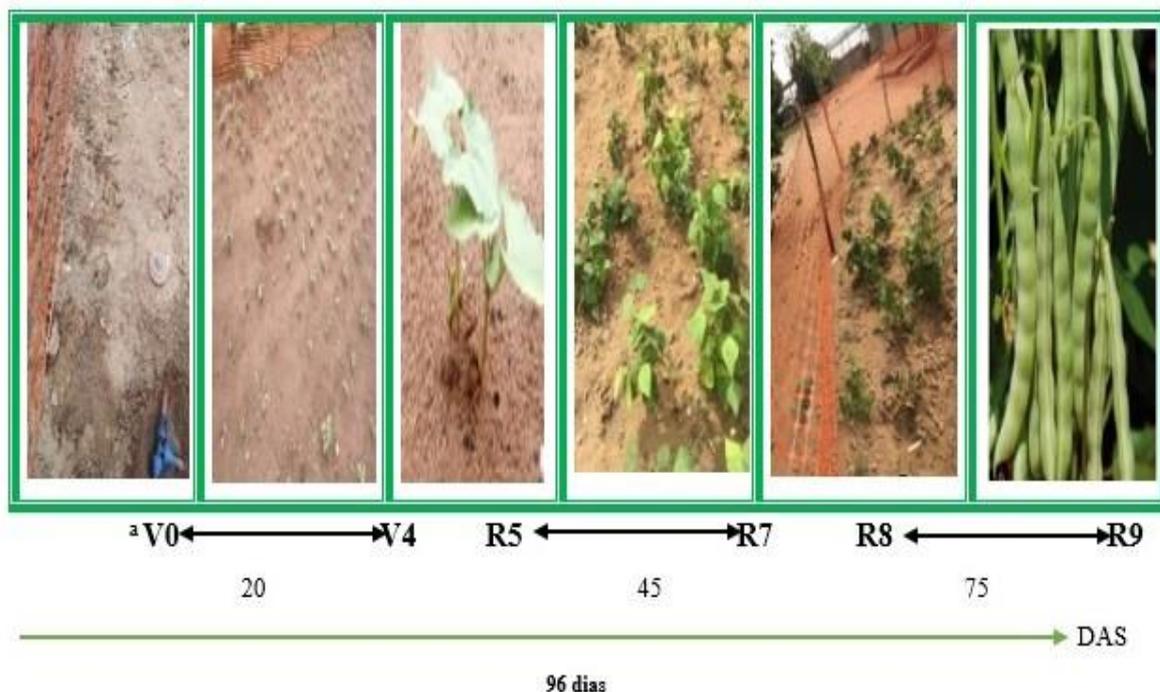
A aplicação de água em quantidade insuficiente para atender a necessidade hídrica da planta normalmente proporciona baixos níveis de produtividade, porém a aplicação em excesso, que pode parecer uma segurança para o agricultor, favorece a lixiviação de nutrientes, mantém o solo com baixa aeração, aumenta os custos de produção e compromete a qualidade e a produtividade dos cultivos. Além disso, a aplicação excessiva provoca redução na disponibilidade de recursos hídricos da região, comprometendo o seu uso para outras atividades e até mesmo para aumento da área irrigada pelo agricultor.

### **5.12 Aptidão para a replicabilidade da tecnologia de irrigação com potes de argila no desenvolvimento das plantas**

No teste de germinação 78% das sementes emergiram e formaram as plântulas, ou seja, 39 sementes germinaram entre 48 a 72 horas, confirmando assim o poder germinativo das sementes crioulas e o potencial de uso na unidade teste. Observou-se que a pluma de molhamento no entorno dos potes de argila sempre na capacidade máxima de 10 L, garantiam uma oferta de cerca de 40 cm em torno dos potes, tendo como indicador a plena capacidade vegetativa dos pés de feijoeiro.

A germinação em campo aconteceu na primeira semana, onde todas as plantas emergiram até 2 cm. Na Figura 36 apresenta-se um desenho esquemático dos estádios fenológicos da cultura descritos pelo CIAT; Centro Tropical (1983) e comparando com a evolução das plantas na área teste.

**Figura 36** Escala fenológica do feijão e duração média do ciclo de cada subperíodo nas fases de desenvolvimento do experimento fases de crescimento no campo experimental de Khongolote (Vale do Infulene)



<sup>a</sup>V0 a V4 = estágio Vegetativo e R5 a R7 = estágio reprodutivo; R8-R9= estágio reprodutivo até a formação do legume<sup>b</sup>DAS = Dias após a semeadura (média).

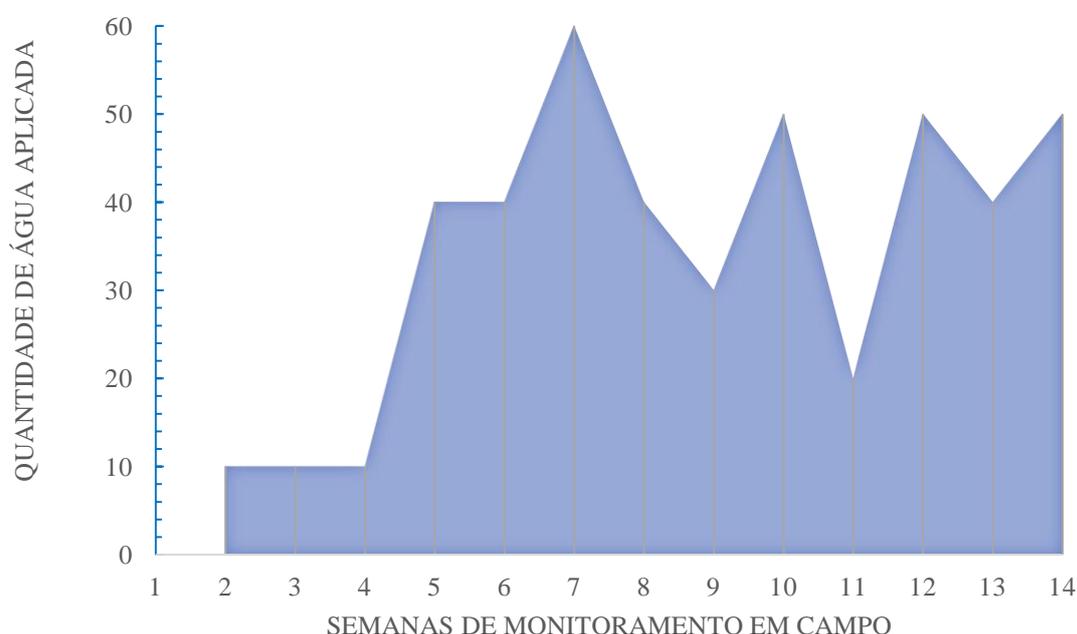
Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados expressos em gráficos de controle do consumo hídrico/evapotranspiração da planta tiveram o seguinte comportamento: no estágio inicial uma irrigação constante manual com aplicações semanais de água até as senescências das culturas. Em média verificou-se maior consumo hídrico entre a quinta a sétima semana, ou seja, no estágio reprodutivo da planta 13 litros por planta, o que corresponde a um consumo de médio de aproximadamente 2.5 mm dia<sup>1</sup>. Na Figura 37 é demonstrado o Consumo hídrico do experimento nas diferentes fases de crescimento da cultura.

Os resultados obtidos demonstram uma redução do consumo hídrico muito próximo aos resultados de Bastos (2017) com a cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata. L. Walp*) em que com a oferta pluvial de 300 mm foi possível produzir satisfatoriamente, sem a necessidade de irrigação, reforçando que a cultura apresenta condições favoráveis em áreas cuja precipitação varia entre 250 mm a 500 mm durante o ciclo da cultura.

Quando a cultura estava em pleno desenvolvimento, ou seja, entre a quinta a sétima semana houve maior consumo de água pelas plantas, reforçando que no período da floração as plantas demandam das maiores taxas hídricas, ou seja, é nesse estágio reprodutivo que os sistemas de irrigação vão consumir os maiores volumes de água, devido as plantas estarem em índice de área foliar máximo (IAF máximo).

**Figura 37** Consumo hídrico durante o crescimento da cultura de feijão (em litros dentro do pote)



Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados obtidos equipararam-se aos estudos realizados por De Souza et al. (2016) com a cultura da soja no nordeste do Pará (Amazônia Oriental) em que apresentou um consumo máximo de água durante o período reprodutivo, com pico máximo de 4,1 mm dia<sup>1</sup> durante a fase de enchimento de grãos. O mesmo estudo enfatiza que durante o período vegetativo a perda de água pela cobertura vegetal ocorreu taxas elevadas, mesmo havendo menor área foliar. Isso pode ser atribuído devido à elevada oferta de água proveniente do regime de chuvas e de energia solar na região, influenciando a evaporação da água do solo. A redução da área foliar observada pode ter sido a responsável por manter a evapotranspiração da soja próxima de 4 mm dia<sup>-1</sup>, o mesmo comportamento se verificou em relação a pesquisa de Moraes et al., (2017) na modelagem feita à cultura do acaí.

Enquanto que no estudo de Gonçalves (2010) constatou que na cultura do feijão caupi exige a demanda hídrica é aproximadamente 300 mm de precipitação para produzir satisfatoriamente, sem a necessidade da prática de irrigação. As regiões cujas cotas pluviométricas oscilam entre 250 mm e 500 mm anuais são consideradas aptas para o desenvolvimento da cultura. Entretanto, a limitação hídrica encontra-se mais diretamente condicionada à distribuição do que a quantidade total de chuvas ocorridas no período.

Os resultados do ensaio experimental mostraram que existem materias locais para que se possa replicar a tecnologia de irrigação com potes de argila no contexto de Moçambique, e o controle afetado verificou-se que 90% das culturas produzidas a base da irrigação com potes de argila produziram frutos com menos consumo de água do que geralmente é usado na cultura do feijão em outros sistemas de irrigação.

Deste modo, considerando o termo “eficiência do uso da água” que foi definido por fisiologistas vegetais para expressar a quantidade de matéria seca (MS) produzida por uma planta em função da quantidade de água evapotranspirada ( $\text{kgMS} / \text{m}^3 \text{H}_2\text{O}$ ); Embora este termo seja usual na literatura científica, do ponto de vista da engenharia, a eficiência de um processo é um valor percentual adimensional. Para resolver este impasse foi proposto a utilização do termo “produtividade da água” como sinônimo do termo “eficiência do uso da água” (Steduto et al. 2007).

Neste sentido, o sistema instalado em Khongolote por usar um aporte hídrico natural em eventos de chuva visa otimizar os sistemas de irrigação tanto em reuso da água quanto no manejo do solo e da água. Esses autores reforçam que a diminuição na demanda máxima de irrigação proporciona redução na dimensão do sistema (potência de motobomba, capacidade dos transformadores, diâmetro das tubulações) reduzindo-se, desta forma, os custos de instalação. O manejo de irrigação deve maximizar o uso da água de chuva e minimizar a quantidade de água aplicada via irrigação.

Há que considerar que embora a agricultura irrigada represente aproximadamente 70 % do consumo hídrico mundial, não se sabe ao certo qual é a eficiência de aplicação desta água na zona radicular das plantas. Estima-se que as perdas por evaporação no processo de aplicação de água na irrigação possam ser na ordem de 10 a 20 % e as perdas por drenagem de 15 a 20 %, resultando em uma perda total entre 25 a 40 % da água aplicada nas irrigações por aspersão e por superfície. Esta “ineficiência” da irrigação mundial pode ser considerada uma “grande oportunidade”, pois com o uso de novas tecnologias, ao aumentar o nível dessa eficiência, mais água estará disponível para ampliação da agricultura irrigada (Coelho et al. 2021).

Catalunha et al. (2002) reforçam às dificuldades de acesso às informações meteorológicas, na análise de características de distribuição das precipitações pluviais e na complexidade de seu processamento, sendo que os projetos de irrigação, em sua maioria são

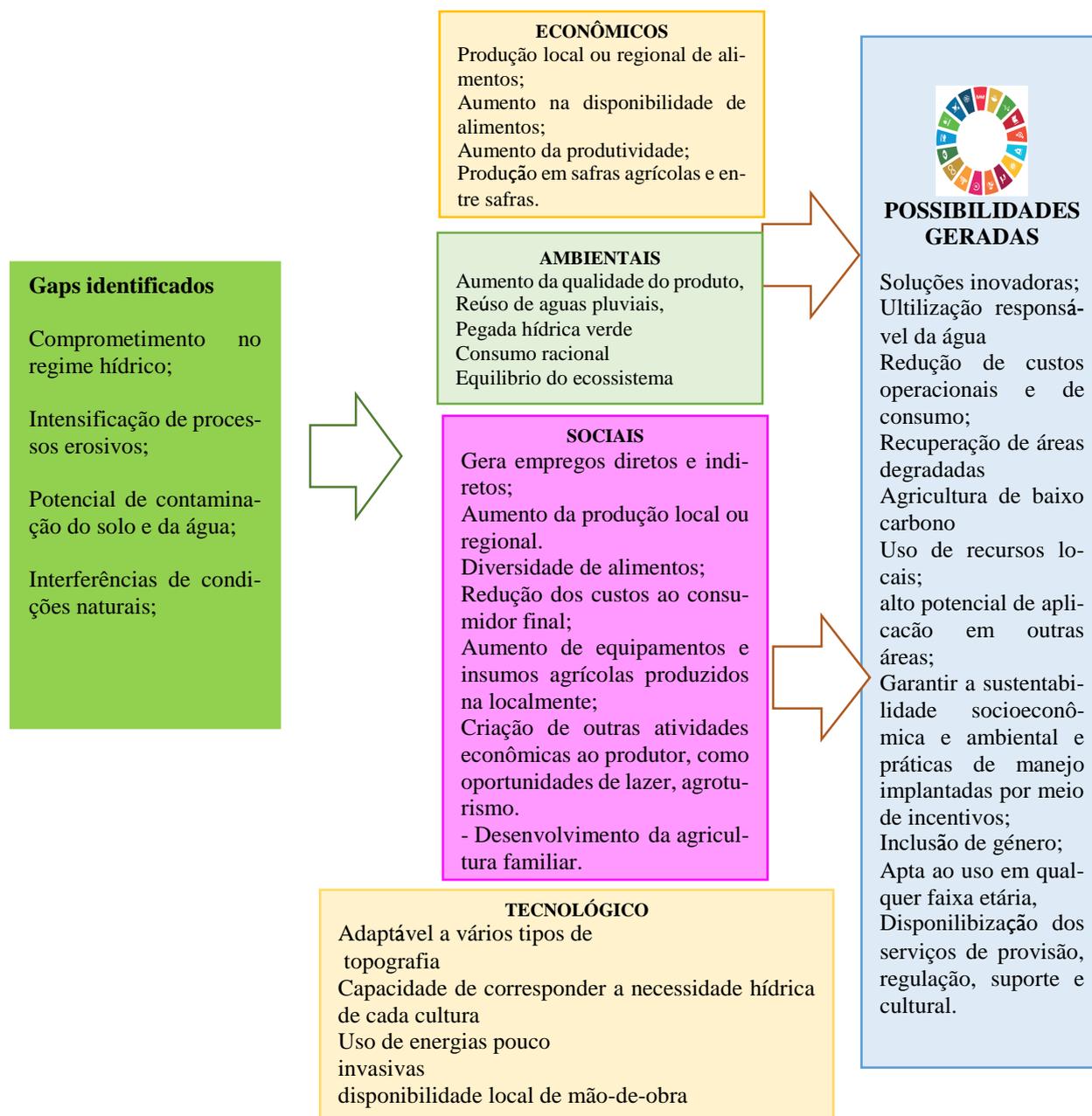
dimensionados em termos de irrigação total sem se considerar a contribuição diária das chuvas. Atendendo às necessidades nos períodos críticos de escassez de água para os cultivos e sem levar em conta as precipitações naturais. Muitos sistemas de irrigação não contabilizam as reais necessidades hídricas das culturas em função das taxas evapotranspiratórias.

Existe um potencial de melhoria de eficiência no uso das estruturas produtivas especialmente as melhoras administrativas, operacionais e de manutenção nas infra-estruturas hídricas de condução e de distribuição existindo muito espaço para aprofundar as medidas de otimização. Para minimizar a perda de água por evaporação intensa, pode se recorrer ao sistema de cultivo plantio direto e manejar o solo com escarificadores, quando necessário. Adequar os volumes de rega às necessidades hídricas das culturas e reduzir as perdas no transporte e na distribuição também podem contribuir para a eficiência no uso da água na atividade agropecuária.

Outros aspectos que devem fazer parte das medidas associadas a sustentabilidade hídrica do empreendimento são as vinculadas à sustentabilidade da fonte hídrica, o que exige maior participação individual ou em associação dos irrigantes nos comitês de bacia hidrográficas de maneira a promover a adequada valorização dos mananciais de água superficial e subterrânea e estabelecer prioridades à água para consumo humano (Faggion et al. 2009).

Na Figura 38 são identificados os problemas levantados pelos sistemas de irrigação local e as possibilidades geradas para solucionar tais situações decorrentes avaliação feita face a implantação da agrotecnologia de irrigação nas condições de Khongolote.

**Figura 38** Tecnologia de irrigação com potes de argila e indicadores identificados ao longo do experimento em campo



Fonte: Autoria própria (2023)

Acredita-se que os ajustes na melhoria do processo para garantir a replicabilidade da tecnologia possam ocorrer quando mais pessoas se interessarem pela adoção da tecnologia. Os resultados apontaram que a lâmina de irrigação aplicadas durante o ciclo do feijão irrigado ao comparar com potes de argila, a oferta de água pelos potes de argila reduziu em 22.3 vezes menos água do que a irrigação por sulcos e nivelamentos fechados (UNEP, 2019).

A unidade teste permitiu detectar que existem artesãos capazes de fabricar diferentes tamanhos de potes para atender a demanda, principalmente nos cinturões verdes que

abastecem os mercados de hortaliças, oriundas de agricultores de base familiar rural. Se houver armazenamento de água da chuva para atender a demanda das culturas irrigadas pode ser uma estratégia para mitigar o problema de contaminação por agroquímicos nos drenos que passam pelas áreas onde se concentram os cinturões de produção de hortaliças na região.

Em condições semelhantes a área teste os potes de argila a serem utilizados em um sistema de irrigação deverão propiciar no mínimo uma liberação média entre 0.5 a 3.5 litros de água diários dependendo das condições climáticas e do estágio fenológico da cultura.

## 6. CONCLUSÃO

Os indicadores hídricos apresentados apontam que a tecnologia contribui no fortalecimento da adoção de práticas conservacionistas sobre o reuso de água da chuva e utilização de potes de argila na agricultura de base familiar nos dois países.

Identificou-se alto risco nos recursos hídricos usados na agricultura quando se analisa a condição da variabilidade sazonal. E em relação a situação regulatória e reputacional, indicando que a longo prazo ainda que a água esteja disponível pode ter limitações para fins de consumo humano e irrigação.

O mapeamento do conhecimento gerado no espaço Ba na Comunidade de Lavra confirma o potencial de expansão da tecnologia de irrigação na produção de alimentos o ano todo com eficiência hídrica na agricultura pelo reaproveitamento da água da chuva. Das quatro fases do modelo de criação do conhecimento pelo projeto IrrigaPote (SECI) identificadas a fase de a socialização, externalização e combinação são as mais expressivas.

A tecnologia de irrigação pode manter a produção agrícola durante todo o ano com ganhos econômicos, sociais e ambientais para os produtores, demonstrando resiliência à escassez hídrica, imposta pelas chuvas sazonais na região. A lacuna identificada na cadeia de valor da irrigação em Santarém está na fabricação de potes de argila, pois os artesãos locais não trabalham com esse tipo de artefato. O impacto das divulgações, das visitas de campo, das publicações e do uso das redes sociais proporcionaram maior visibilidade aos produtores que adotaram a tecnologia de irrigação, consolidando a parceria pesquisa-ensino-produtor rural. A tecnologia gerou conhecimento sobre produção agrícola, reposição hídrica, gestão de propriedades e benefícios ambientais. O conhecimento gerado no espaço Ba é altamente aderente aos pressupostos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, principalmente os ODS 2, 6, 11, 12 e 17.

Analisando a sustentabilidade do modelo de exploração dos recursos hídricos adotado pelos produtores moçambicanos apontam-se pelo menos dois fatores técnicos (método de irrigação e tempo de absorção da água pela cultura), sociais (perfil dos produtores e atividades comunitárias de sensibilização), econômicos (rendimento e custo pela irrigação) e ambientais (reaproveitamento da água e capacidade de recarga do aquífero) que potencializam o uso da irrigação com potes de argila consolidada na URT pelos produtores em Lavras.

Nas diferentes alternativas para melhorar a eficiência do uso da água, em nível de propriedade agrícola e nos sistemas coletivos, a irrigação por potes de argila apresenta-se como

alternativa replicável no Vale do Infulene, em Moçambique. A tecnologia de irrigação com potes de argila oferece grandes perspectivas de economia da água.

A existência de artesãos reforça o potencial de adoção da tecnologia em cultivos irrigados, nas áreas agrícolas de Maputo. O sistema demonstra eficiência no consumo hídrico, tendo como cultura teste na região o ensaio com o feijão manteiga implando durante o trabalho de tese, pois a iniciativa permitiu identificar algumas lacunas como a aquisição das boias no mercado de Maputo. É necessário que haja um conhecimento sobre a oferta de matéria prima no local para garantir que a tecnologia seja implantada. A área teste possibilitou identificar que é possível a instalação de vitrines tecnológicas em Maputo para avaliar outras culturas e capacitar os agricultores quanto ao uso da tecnologia de irrigação de baixo custo como potes de argila.

### **6.1 Resultados Esperados x Resultados Alcançados**

Nesta sessão foram apresentados os resultados esperados da tese que cobriam uma gama de categorias segregados da seguinte forma: resultados científicos, resultados técnicos, resultados tecnológicos e resultados sociais. O objetivo principal do estudo foi analisar indicadores de uso eficiente de água na agricultura familiar irrigada nas condições climáticas da Amazônia Oriental e na África Austral.

Nesses resultados esperados, parte deles foram alcançados e outros ainda estão sendo construídos. Destarte, o Quadro 13 mostra os resultados alcançados para que se materializassem os objetivos da tese e aponta indicadores de uso da água na agricultura. Um conjunto de indicadores de risco foram apresentados para dar o ponto situacional dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas e as condições climáticas verificou-se os estoques hídricos no solo.

Deste modo julga-se como a contribuição mais relevante deste trabalho o referencial disponibilizado para mapear conhecimento, interações e processos estratégicos e operacionais. Para tanto um conjunto de resultados emergiram para que pudesse ver as bases necessárias para a replicabilidade da tecnologia no Brasil e em Moçambique.

Quadro 13 Síntese dos resultados da tese

	<b>Esperados</b>	<b>Alcançados</b>
<b>Científicos</b>	(i) desenvolver um modelo de indicadores de risco e variáveis preditivas que permitissem apontar o ponto situacional dos recursos hídricos e estabelecer critérios sobre a sustentabilidade dos mesmos,	um conjunto de indicadores foram identificados para quantificar riscos e classificou-se o tipo de exploração dos recursos hídricos na agricultura,
	(ii) mensurar o impacto de tecnologia social de irrigação no dia a dia dos produtores na Amazonia e averiguar potencial de expansão,	mapeamento do conhecimento gerado, e espaços em que a repercussão em que a tecnologia social de irrigação com potes de argila teve no contexto da Amazônia oriental e o potencial de expansão e adaptabilidade em Moçambique,
	(iii) publicação de 4 artigos em revistas indexadas; 4 capítulos de livros e garantir outros mecanismos de divulgação em conferências, congressos e seminários acadêmicos,	2 artigos publicados em revista indexada DOI: <a href="https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_39655">https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_39655</a> DOI: <a href="https://doi.org/10.55905/revconv.16n.12-224">https://doi.org/10.55905/revconv.16n.12-224</a> 1 artigo publicado em revista indexada (Co-autoria) DOI:10.34117/bjdv6n11-056 3 artigos submetidos (Aguardando a resposta do Journal)
		3 capítulos de livros (SND, Vol. I e II) Co-autoria : Ciencia aplicada ao uso múltiplo da florestado baixo Amazonas Foram publicados diferentes trabalhos científicos: 5 artigos completos em conferências internacionais GeoÁfrica I e GeoÁfrica II no rio de janeiro e em maputo Euro Mediterranean Conference for environmental integration EMCEI na Itália. Conferência científica Internacional da Universidade Eduardo Mondlane em Maputo II Congreso Internacional de Ciencias Sociales y Humanas “La Amazonia Brasileña na Espanha Publicação de 4 artigos completos em 3 conferências nacionais: Congresso Brasileiro de meteorologia São Paulo Encontro Nacional dos Comitês de Bacias Hidrográficas, Paraná Congresso Brasileiro de Agrometereologia, Brasília Co-autoria: Dois artigos publicados em anais no XXX Congresso Brasileiro de Agronomia, Confederação dos Engenheiros Agrónomos do Brasil, Rio de Janeiro. Publicação de 3 artigos na X Jornada Acadêmica e IX Seminario da Pós-Graduação da UFOPA, VII, Jornada Acadêmica da UFOPA, Santarém

Quadro 13 Síntese dos resultados da tese (Cont.)

<b>Acadêmicos</b>	apresentar a comunidade acadêmica os impactos de uma tecnologia social e suas potencialidades para as comunidades	Os resultados da pesquisa foram divulgados durante o curso Sustainable Supply Chains for Social Business organizado por pesquisadores Universidade Federal do Pará (UFPA) Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), New York University (NYU), e Instituto de Ensino e Pesquisa em São Paulo (INSPER)
		Aula na Embrapa Amazonia Oriental para estudante de agrônoma: Avaliação dos Recursos Hídricos na Agricultura no contexto de mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável
		Foi ministrada uma aula presencial na Universidade Eduardo Mondlane em Moçambique durante a durante o curso de extensão rural
<b>Técnicos</b>	desenvolver uma cartilha técnica de linguagem acessível para o produtor, que explicita o funcionamento da irrigação com potes de argila e outros mecanismos de gestão hídrica	a pesquisa produziu um campo experimental na Universidade São Tomás de Moçambique onde podem decorrer demonstrações sobre o uso eficiente da água e visitas técnicas para consolidação dos conhecimentos adquiridos sobre o consumo hídrico
	um plano de manejo hídrico com as culturas de interesse para o produtor	as análises realizadas servem de base para de consulta sobre os diferentes fatores a considerar na escolha de um método de irrigação na agricultura de base familiar
<b>Tecnológicos</b>	criar inovação técnica de modo a agregar valor e visibilidade ao sistema de irrigação com potes de argila como uma tecnologia sustentável	sistema de irrigação com potes de argila trabalhado na tese foi proposto como modelo de negócio no programa Amazônia up, numa pre-seleção de negócios com foco em floresta, biodiversidade e uso do solo
<b>Sociais</b>	identificar fatores que relacionem o perfil do produtor e a sua relação com os recursos hídricos,	os indicadores divulgados nos resultados da tese possibilitam a conscientização social sobre formas de captação dos recursos hídricos utilizados na reposição de água, principalmente no período de redução da oferta pluvial,
	avaliar as percepções sociais dos produtores face aos recursos hídricos e ao conhecimento gerado em torno dos mesmos,	os resultados realçam a oportunidade de uma tecnologia social sobre as mudanças geradas no conhecimento individual e em redes colaborativas, na economia, no ambiente e na vida das pessoas,
	fazer a devolutiva dos resultados da tese às comunidades e tornar o conhecimento disponível, acessível e replicável,	preparação da devolutiva (em curso-após a defesa da tese)
	disponibilizar a sociedade bases de consulta sobre a importância social de métodos que reduzam a pegada hídrica, e demonstrar a necessidade de haver maior inclusão dos produtores na tomada de decisão sobre os métodos de irrigação adequados ao seu contexto social	Palestra na Universidade Federal Tecnológica do Paraná Palestra na Universidade Luterana do Brasil Capacitações (em curso)

Fonte: Autoria própria (2023)

## **6.2 Limitações e desafios da pesquisa**

Durante a realização da pesquisa, teve-se restrições impostas pela pandemia da COVID-19, que criaram limitações durante a coleta de dados, sendo uma delas foi a indisponibilidade dos produtores em função de um elevado número de casos positivos, aliado ao fato de que o fraco domínio de uso de tecnologias de informação não permitiu poder fazer entrevistas online. Outro fator limitante foram as leis publicadas em decretos do governo que inviabilizaram a mobilidade para coleta de dados em campo, o que culminou com o atraso em alguns prazos na devolutiva às comunidades. Ocorreu também a indisponibilidade de alguns acessórios para compra, tendo que recorrer a substituição de outros com a mesma função, sendo a situação foi contornada por matérias alternativos locais.

## **6.3 Recomendações e sugestões para trabalhos futuros**

Os resultados desta pesquisa podem contribuir para aumentar a conscientização sobre o manejo da irrigação com o aporte a tecnologias sociais de baixo custo e sustentáveis que podem fortalecer a produção familiar, fornecendo aos formuladores de políticas *insights* úteis para apoiar o desenvolvimento de políticas adequadas às características pessoais dos agricultores, onde se vai implementar e aperfeiçoar a prestação de serviços, e assim recomendações da pesquisa são apresentadas no Quadro 14.

**Quadro 14** Direcionamento das recomendações da pesquisa

Órgão	Entidade	Recomendações
Associação de produtores	produtores	(i) que continuem receptivos em adotar práticas de produção mais sustentáveis e que apontem indicadores de sustentabilidade na agricultura.
	em nível comunitário	(ii) que haja maior inclusão de género em nível da agricultura de base familiar.
	em nível comunitário	(iii) que sejam pro-ativos no uso de materiais locais e na divulgação e busca de soluções inovadoras para os problemas quotidianos.
Governo	Ministério da Agricultura e Segurança Alimentar	(i) que haja interesse para o domínio de ferramentas de mapeamento e simulações de risco credíveis para um prever necessidades exatas de consumo hídrico
		(ii) recomenda-se o mapeamento do conhecimento sobre a oferta de matéria prima no local onde se pretende implantar a tecnologia de irrigação com potes de argila;
		(iii) que sejam subsidiados pacotes tecnológicos alinhados ao perfil dos produtores que validem o conhecimento tácito e explícito;
		(iv) que seja reforçada a parceria público-privada através de programas que integram o ensino, a pesquisa, a extensão e a inovação.
Organizações não governamentais		(i) que identifiquem vínculos institucionais de cooperação que de forma coordenada possam garantir o fortalecimento da conservação dos recursos hídricos e tecnologias sustentáveis de irrigação na agricultura de base familiar
Comunidade acadêmica	Universidades, Institutos e instituições de pesquisa	(i) que aumentem as iniciativas de implantar ensaios que possibilitem identificar lacunas como a aquisição das bóias no mercado de Maputo
		(ii) que se desenvolvam mais pesquisas sobre um plano de materiais alternativos e complementares a tecnologia de forma que a ausência de um acessório não seja limitante para o seu fomento
		(iii) que haja validação sobre a possibilidade de desenvolvimento de ensaios com inclusão de novas culturas, só assim o mapeamento do conhecimento gerado será cada vez mais efetivo;
		(iv) estimular a produção de cartilhas educativas para a comunidade e um plano de manutenção e assistência técnica aos que farão uso da tecnologia.
Futuros pesquisadores	Universidades, Institutos e instituições de pesquisa	(i) Para os futuros estudos, que possam testar a inclusão de novos acessórios aos potes como sensores de controle do consumo hídrico, bem como a criação de redes de tecnologia 4.0 para os potes, que permita consolidar uma rede de comunicação interna entre os produtores utilizadores desta tecnologia.

Fonte: Autoria própria (2023)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. R. P. *Gestão Ambiental Aplicada Ao Urbanismo. Estudo De Caso: Expansão Urbana No Município De Santarém*, Universidade Federal do Pará Belém, Pará, Brasil, 2015.

ABU-ZREIG; M., M.; ABE, Y.; ISODA, H. The auto-regulative capability of pitcher irrigation system. **Agricultural Water Management**, v. 85, n. 3, p. 272–278, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, Distrito Federal, 2017.

ÁGUAS, A. N. DE. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, Distrito federal, 2013.

AHLERT, L.; CHEMIN, B. F. A sucessão patrimonial na agricultura familiar. **Revista Estudo & Debate**, v. 17, n. 1, 2010.

ALCAMO, J.; HENRICHS, T.; ROSCH, T. World water in 2025. **World water series report**, v. 2, 2000.

ALLAN, R. P.; HAWKINS, E.; BELLOUIN, N.; COLLINS, B. IPCC, 2021: summary for Policymakers. Cambridge University Press, 2021.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; D., R.; M., S. Crop evapotranspiration -Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and drainage**. p.1–300, 1998. Rome, Italie.: FAO.

AMORIM, E. B.; HERRERA, J. A.; NEVES, I. C. Território e conflito na Amazônia: interpretações geográficas dos conflitos pela terra em Anapu, Pará. **Campo-Território: revista de geografia agrária**, v. 15, p. 223–248, 2020.

ANDRADE, M. C. R. .; SANTOS, J. M. A. .; SILVA, P. M. R. .; CAMPOS, N. M. Produção de tomate rasteiro por irrigação localizada. **Revista Saberes UniAGES, Paripiranga**, v. 1, n. 5, p. 18–22, 2017.

ANJO, A. B. Objectivos de Desenvolvimento Sustentável e os Recursos Hídricos – uma reflexão, *In*: E. S. e T. P. e o I. de I. em colaboração com a T. M. Ministério da Ciência e Tecnologia (Org.); Seminário Internacional sobre a Meteorologia e Dessalinização da Água. **Anais...**,p.17,Maputo,Moçambique.2015,Disponívelem:[https://www.researchgate.net/publication/284167386\\_Objectivos\\_de\\_Developolvimento\\_Sustentavel\\_e\\_os\\_Recursos\\_Hidricos\\_uma\\_reflexao](https://www.researchgate.net/publication/284167386_Objectivos_de_Developolvimento_Sustentavel_e_os_Recursos_Hidricos_uma_reflexao).

BAINBRIDGE, D. A. Buried clay pot irrigation : a little known but very efficient traditional method of irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 48, p. 79–88, 2001.

BAINBRIDGE; STEEN, W.; A., S. Super-efficient irrigation with buried clay pots. . USIU Envir ed., p.5, San Diego, California: United States International University, 1998.

BAKKER, K. Water security: research challenges and opportunities. **Science**, v. 337, n. 6097, American Association for the Advancement of Science, p. 914–915, 2012.

BARBIERI, J. D.; DALLACORT, R.; OLIVEIRA, T.; TIEPPO, R. C.; ARAÚJO, D. V. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo para a microrregião da BAP (MT). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 21–28, 2017.

BATALHA, S. S. A.; MARTORANO, L. G.; BIASE, A. G.; et al. Condições físico-químicas e biológicas em águas superficiais do Rio Tapajós e a conservação de Floresta Nacional na Amazônia, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 647–663, 2014. SciELO Brasil.

BATCHELOR, C.; LOVELL, C.; MURATA, M. Simple microirrigation techniques for improving irrigation efficiency on vegetable gardens. **Agricultural Water Management**, v. 32, n. 1, p. 37–48, 1996. Elsevier.

BELLEN, H. Desenvolvimento Sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Ambiente e Sociedade**, v. 2, n. 7, p. 67–87, 2006.

BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; PETERSON, G. D.; et al. Why global scenarios need ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 6, p. 322–329, 2003. Wiley Online Library.

BERHE, A. A.; MARTORANO, L. G.; GEBREKIDAN, A. G.; et al. Comparative Efficiency Evaluation of Different Clay Pots Versus Bucket Irrigation System Under Swiss Chard (*Beta vulgaris* subsp. *cicla*) Growers Condition in Northern Ethiopia. **Malaysian Journal of Medical and Biological Research**, v. 1, n. November, p. 122–127, 2015.

BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; et al. Densidades de *Giardia* e *Cryptosporidium* em mananciais de abastecimento de água e prevalência de giardiase: usos e aplicações do modelo teórico de avaliação de risco. Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária E Ambiental in **Anais...** . v. 28, 2002.

BIAN, Z.; LIU, L.; DING, S. Correlation between spatial-temporal variation in landscape patterns and surface water quality: a case study in the Yi River Watershed, China. **Applied Sciences**, v. 9, n. 6, p. 1053, 2019. MDPI.

BIERMANN, F.; KANIE, N.; KIM, R. E. Global governance by goal-setting: the novel approach of the UN Sustainable Development Goals. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 26, p. 26–31, 2017.

BINOTTO, E.; NAKAYAMA, M. K.; SIQUEIRA, E. S. A criação de conhecimento para a gestão de propriedades rurais no brasil e na austrália. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 4, p. 681–697, 2013.

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 12–23, 2009.

BOANA, F. M. Estudo da qualidade da água dos rios umbelúzi e incomáti para fins de consumo doméstico e irrigação, Universidade Eduardo Mondlane, 2011.

BORGES, T. C. DE S. **A Gestão dos Recursos Hídricos no Pará: Uma Análise do Uso Múltiplo da Água na Região de Santarém e suas Implicações**, Universidade Federal do Oeste do Para. 2019.

BORGOMEIO, E.; SANTOS, N. **Background paper prepared for the high level meeting on agricultural water policies and investments**. FAO ed. Italy, 2019.

BOUAROU DJ, S.; MENAD, A.; BOUNAMOUS, A.; et al. Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. **Chemosphere**, v. 219, p. 76–88, 2019. Elsevier.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; et al. *Introdução a Engenharia Ambiental*. 2005. 2ª Edição. , 2005. Pearson Prentice Hall, São Paulo.

BRAGA, B.; ROCHA, O.; TUNDISI, J. Dams and the environment: the Brazilian experience. **International Journal of Water Resources Development**, v. 14, n. 2, p. 127–140, 1998.

BREÑA-NARANJO, J. A.; KENDALL, A. D.; HYNDMAN, D. W. Improved methods for satellite-based groundwater storage estimates: A decade of monitoring the high plains aquifer from space and ground observations. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 17, p. 6167–6173, 2014. Wiley Online Library.

BRITO, F.; PESSOA, F.; CRISPIM, D.; ROSÁRIO, K. Uso de indicador hídrico na Ilha de Cotijuba, município de Belém-PA. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 17, n. 1, p. 11–20, 2020.

BRITO, R. A. L. .; BOS, M. G. **Irrigation performance assessment in Brazil**. Sete Lagoas, Minas gerais, 1997.

BRONZATTO, L. A.; SOARES, D. N.; SANTOS, G. R. DOS; KUWAJIMA, J. I.; CUCIO, M. S. O Objetivo Do Desenvolvimento Sustentável 6 – Água E Saneamento : Desafios Da Gestão E A Busca. **boletim regional, urbano e ambiental** |, v. 18, n. June, p. 119–128, 2018.

BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. **Environmental management**, v. 30, p. 492–507, 2002. Springer.

CALDANA, DA S.; FELIPE, N.; JÚNIOR; et al. Ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações e a variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Iguaçu. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018.

CALMON, D. Para cada problema africano, existe uma solução brasileira'? Uma análise dos megaprojetos brasileiros em Moçambique. **Revista Vernáculo**, v. 30, p. 66–111, 2012.

CARARO, D. C.; ZUFFO, C. E. Manejo e uso da água na Amazônia Ocidental. **Solos da Amazônia Ocidental**, p. 113, 2021.

CARLOS, D. A. I.; MARTORANO, L. G. Potencial de Simulação de Ferramenta de Análise de Riscos Hídricos em Polos de Produção Agrícola: Amazônia e Moçambique. In: A. H. H. MINERVINO; T. S. A. BRASILEIRO (Orgs.); **Sociedade, Natureza e Desenvolvimento na Amazonia**. 1º ed, p.255–270, 2019. Santarem: UFOPA.

CARLOS, D. A. I.; MARTORANO, L. G. AGROTECNOLOGIA IRRIGAPOTE: potencial de expansão de irrigação de baixo custo em áreas de cultivos agrícolas no Brasil. In: S. Melo; T. S. A. Brasileiro (Orgs.); **SOCIEDADE, NATUREZA E DESENVOLVIMENTO NA AMAZÔNIA**. 2º ed, p.287–306, 2020. Curitiba, Brasil: CRV.

CARLOS, D. Á. I.; MARTORANO, L. G. Indicadores De Risco Nas Bacias Hidrográficas Que Sustentam A Irrigação Nos Polos De Produção Na Amazônia E Em Moçambique. **Boletim GeoÁfrica**, v. 1, n. 1, p. 62–75, 2022a.

CARLOS, D. Á. I.; MARTORANO, L. G. Indicadores de risco nas bacias hidrográficas que sustentam a irrigação nos polos de produção na Amazônia e em Moçambique. **Boletim GeoÁfrica**, v. 1, n. 1, p. 62–75, 2022b.

CARLOS, D. Á. I.; MARTORANO, L. G.; GASPARI, A. B. DOS S.; FRANCO, I. M.; SILVA, R. DA. Uma Aplicação na Geociência da Termografia Infravermelho para Diagnosticar Padrões Térmico-Hídricos em Solos com Culturas Irrigadas por Potes de Argila no Oeste do Pará, Amazônia. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 44, p. 1–13, 2021.

CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, p. 426–434, 2008. SciELO Brasil.

CARRILHO, J.; ABBAS, M.; JÚNIOR, A.; CHIDASSICUA, J.; MOSCA, J. Desafios para a segurança alimentar e nutrição em Moçambique. **Políticas Públicas e Agricultura em Moçambique**. Maputo: Escolar Editora, 2016.

CARVALHO, J. R. M. DE; CARVALHO, ENYEDJA K. M., DE ARAUJO; LIRA, W. S.

Estudo Dos Indicadores De Sustentabilidade Da Agricultura Familiar: O Caso Da Comunidade De Vieirópolis, PB. **Revista brasileira de meio ambiente e sustentabilidade**, v. 3, n. 2008, p. 244–266, 2013.

CARVALHO, J. R. M. DE; CARVALHO, ENYEDJA KERLLY MARTINS DE ARAÚJO; LIRA, W. S. Estudo Dos Indicadores De Sustentabilidade Da Agricultura Familiar : O Caso Da Comunidade De Vieirópolis, **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 3, n. 2, p. 242–263, 2013.

CARVALHO, L. M. V; JONES, C.; SILVA DIAS, M. A. F. Intraseasonal large-scale circulations and mesoscale convective activity in tropical South America during the TRMM-LBA campaign. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. LBA-9, 2002. Wiley Online Library.

DE CARVALHO, R. A. F.; DE CARVALHO, A. V.; TANAKA FILHO, M.; ALMEIDA, R. M.; GUIMARÃES, J. L. C. Desenvolvimento Humano Municipal Na Região De Integração Do Baixo Amazonas Em Perspectiva Comparada: Uma Análise Com Variáveis Padronizadas. **Cadernos CEPEC**, v. 9, n. 2, 2021.

DE CASTRO, B. S.; FARES, L. R.; GONÇALVES, R. F.; YOUNG, C. E. F. Avaliação das fontes potenciais de financiamento para projetos de caráter ambiental relacionados aos ODS no Brasil. **Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica**, v. 31, p. 29–45, 2019.

CATALUNHA, M. J.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 153–162, 2002.

CHAFFEY, D. **Business information management**. 2010.

CHANGE, I. P. O. C. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. 2013.

CHEN, M.-Y.; CHEN, A.-P. Knowledge management performance evaluation: a decade review from 1995 to 2004. **Journal of information science**, v. 32, n. 1, p. 17–38, 2006. Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA.

CHILUNDO, R. J.; DE CARVALHO, P. C. M.; MAHANJANE, U. S. Potencial da Tecnologia Fotovoltaica para Irrigação de Unidades de produção Familiar: Estudo de Caso para Moçambique. Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. **Anais...**, 2014.

CHINGURA, P. **Application of pitcher design in predicting pitcher performance**, 1994. Cranfield Institute of Technology.

CHOO, C. W.; NETO, R. C. D. DE A. The Concept of Ba in Nonaka's Knowledge-Based Theory of the Firm: Research Findings and Future Advancements Towards the Design and Managing of Enabling Contexts in Knowledge Organizations. **EnANPAD**, p. 1–17, 2010.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação e tecnologia moderna**, ABID Brasília.v. 54, p. 46–55, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. , 2008.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de política agrícola**, v. 1, p. 115–136, 2013.

CIAT; CENTRO TROPICAL, I. DE A. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común**. Colombia, 1983.

COELHO, E. F.; FILHO, M. A. C.; OLIVEIRA, S. L. DE. Agricultura irrigada : eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57–60, 2005.

COELHO, E. F.; SANTOS, D. L.; SIMOES, W. L. Irrigação de fruteiras tropicais (abacaxizeiro, bananeira, mamoeiro e mangueira). **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura**. Piracicaba ed., p.429–460, 2021. Sao Paulo: In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, EC (Ed.). Diferentes.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. **Monthly weather review**, v. 123, n. 11, p. 3163–3174, 1995.

CORNETTA, A. Mudanças Climáticas, Políticas Públicas e Pagamento por Serviços

- Ambientais: Uma Discussão sobre Assentamentos Rurais na Transamazônica, Pará. , 2018.
- CORRÊA, F. Gestão Do Conhecimento Holística: Análise De Aderência Do Modelo De Probst, Raub E Rohmhardt (2002). **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 11, n. 3, p. 170–199, 2018.
- CRUZ, J. P. H. DA. **Crescimento e eficiência no uso da água de cafeeiro submetido a estratégias de manejo da irrigação**, 2019. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26078>>.
- CUNHA, M. M. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para realização de manejo de irrigação**, 2019. Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente.
- DAKA. Conservative Irrigation using Ceramic Pitchers as Ancillary Media for Water Conservation. , p. 5, 1991.
- DAKA, A. E. **Development of a technological package for sustainable use of dambos by small-scale farmers a.e. daka**, 2001. University of Pretoria. Disponível em: <<https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/27777/Complete.pdf?sequence=11>>. .
- DALKIR, K. **Knowledge Management in Theory and Practice**. USA: Elsevier Butterworth–Heinemann, 2005.
- DAVENPORT, T. H. Ecologia da informação: porque só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação. 1998.
- DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Working knowledge: How organizations manage what they know**. Harvard Business Press, 1998.
- DE, V.; DA SILVA, P. R.; ALEIXO, D. D. O.; et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. **Revista brasileira de engenharia agricola e ambiental**, v. 17, p. 100–105, 2013. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. .
- DEGGORONE, Z. A.; COSTA; DA, J. F. R. Indicadores de sustentabilidade na produção de alimentos: uma análise sobre a produção olerícola no município de erechim – rs. **Revista de**

**gestao e sustentabilidade ambiental**, v. 7, p. 350–380, 2018.

DIAN, F.; FERREIRA, O.; PINTO, F. REDUCTION OF WATER RESOURCES WASTE IN VEGETABLES REDUÇÃO DO DESPERDÍCIO DE RECURSOS HÍDRICOS NO. **International Journal Semi arid**, v. 2, n. 2, p. 75–83, 2019.

DÖLL, P.; SIEBERT, S. Global modeling of irrigation water requirements. **Water resources research**, v. 38, n. 4, p. 1–8, 2002. Wiley Online Library.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; BENTVELSEN, C. L. M.; et al. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**Yield response to waterRéponse des rendements a l'eau. FAO, Roma (Italia), 1979.

DUBOIS, O. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk**. Earthscan, 2011.

DUQUE, T. O.; VALADÃO, J. DE A. D. Abordagens teóricas de tecnologia social no Brasil. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 11, n. 5, p. 1–19, 2017. Universidade Federal Fluminense.

ENGELMAN, R. Sustaining Water, Population and Further of Renewable Water Supplies. **Population and Environment Program**, 1993. Populaion Action International.

ESCRIVÃO, G.; NAGANO, M. Gestão do conhecimento na educação ambiental: estudo de casos em programas de educação ambiental em universidades brasileiras. **Perspectivas em Ciência da Informação**, 2014. SciELO Brasil.

FABRIGAR, L. R.; WEGENER, D. T. **Exploratory factor analysis**. Oxford University Press, 2011.

FACCIN, K. **A dinâmica das práticas colaborativas para a criação de conhecimento em projetos conjuntos de pesquisa e desenvolvimento: um estudo de caso na indústria de semicondutores**, 2016. UNISINOS.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. DA S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. , 2009.

FALKENMARK, M.; LUNDQVIST, J.; WIDSTRAND, C. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. Natural resources forum. **Anais...** . v. 13, p.258–267, 1989. Wiley Online Library.

FALLAH, R.; ARMIN, M.; TAJABADI, M. A study of attitudes and determinant factors in insurance development for strategic agricultural products. **Technical Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 2, n. 2, p. 44–50, 2012. Science Explorer Publications.

FARIA, R. A. DE; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. Á. S. Economia de água e energia em projetos de irrigação suplementar no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 189–194, 2002. SciELO Brasil.

FINKBEINER, M.; SCHAU, E. M.; LEHMANN, A.; TRAVERSO, M. Towards life cycle sustainability assessment. **Sustainability**, v. 2, n. 10, p. 3309–3322, 2010. MDPI.

FLORENTINO, G. D.; MARTORANO, L. G.; MIRANDA, Í. P. DE A.; MORAES, J. R. S. C. DE; BELDINI, T. P. Dynamics of Space and Time of the Production Chain of the Ceramic Industry Production Center of. **Sustainability**, p. 1–14, 2019.

FOREST, F. **Global Forest Resources Assessment 2010**. Rome, 2010.

GALVÍNCIO, J. D.; S., S. F. A.; SRINIVASAN, V. S. Balanço hídrico à superfície da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 3, p. 135–146, 2006.

GASSERT, F.; LANDIS, M.; LUCK, M.; REIG, P.; SHIAO, T. Aqueduct Global Maps 2.1: Constructing decision-relevant global water risk indicators. **World Resources Institute**, , n. April, p. 31, 2014.

GASSERT, F.; REIG, P.; SHIAO, T.; LUCK, M.; ISCIENCES, L. L. C. Aqueduct global maps 2.1: Constructing decision-relevant global water risk indicators. , 2015.

GLEESON, T.; WADA, Y.; BIERKENS, M. F. P.; VAN BEEK, L. P. H. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. **Nature**, v. 488, n. 7410, p. 197–200, 2012. Nature Publishing Group UK London.

GONÇALVES, J. R. P. Cultivo do feijão-caupi no Amazonas. , 2010.

GOUVEIA, R. L.; SELVA, V. S. F.; PAZ, Y. M. Governança ambiental: contribuição para a revitalização de rios urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, 2019.

GREY, D.; SADOFF, C. W. Sink or swim? Water security for growth and development. **Water policy**, v. 9, n. 6, p. 545–571, 2007. IWA Publishing.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C.; FERREIRA, D. A. C.; et al. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. Brasília, Distrito federal: Brasília, DF: Agência Nacional de Águas; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo ..., 2019.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q. Challenges in the construction of sustainability indicators. **Ambiente & Sociedade**, v. 12, n. 2, 2009. Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade ....

HABITAÇÃO, M. D. O. P. E. **Estratégia nacional de gestão de recursos hídricos**. Maputo cidade, 2007.

HERRAIZ, A. S. La importancia de las aguas subterráneas. **Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 103, n. 1, p. 97–114, 2009. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002. ed. comemorativa Porto Alegre.

HOFSTE, R.; KUZMA, S.; WALKER, S.; et al. Aqueduct 3.0: Updated Decision-Relevant Global Water Risk Indicators. **World Resources Institute**, , n. July, p. 1–53, 2019.

HOMMA, A. K. O.; DE MENEZES, A. J. E. A.; SANTANA, C. A. M.; NAVARRO, Z. O desenvolvimento mais sustentável da região amazônica: entre (muitas) controvérsias e o caminho possível. **Colóquio-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 4, p. 1–27, 2020.

HUSSEY, I.; ALSALTI, T.; BOSCO, F.; ELSON, M.; ARSLAN, R. C. An aberrant abundance of Cronbach's alpha values at. 70. **PsyArXiv**, 2023.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Censo Agropecuário 1996**. Rio de Janeiro, 1998.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2009.

IBGE, I. B. DE G. E E. **No Title**. Rio de Janeiro, 2017.

INE. **Relatório Final do Inquérito ao Orçamento Familiar - IOF-2008 / 9**. Maputo, Mocambique, 2010.

INE, I. N. DE E. **Inquérito sobre Orçamento Familiar – IOF 2019/20 Relatório Final**. Maputo, Moçambique, 2021.

INKPEN, A. C. Creating knowledge through collaboration. **California management review**, v. 39, n. 1, p. 123–140, 1996. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Switzerland, 2021.

ISAIAS, F. B. **A sustentabilidade da água: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas**, 2008. Universidade Federal de Brasília.

JACOBI, P.; FREY, K.; RAMOS, R. F.; CÔRTEZ, P. ODS 6–Água potável e saneamento. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**, p. 117, 2020.

JOSEPH, B.; GONG, Y.; HEFFERNAN, N. Comparing knowledge tracing and performance

factor analysis by using multiple model fitting. **ITS2010 Intelligent Tutoring Systems. LNCS**, v. 6094, p. 35–44, 2010.

JUTHÁ, M. P.; MATUSSE, C.; WARREN-RODRIGUEZ, A.; et al. **Relatório de revisão nacional voluntária da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Maputo, Moçambique, 2020.

KEFA, C. C.; KIPKORIR, E. C.; KWONYIKE, J.; KUBOWON, P. C.; NDAMBIRI, H. K. Comparison of Water Use Savings and Crop Yields for Clay Pot and Furrow Irrigation Methods in Lake Bogoria , Kenya. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 3, n. 8, p. 34–40, 2013.

KELLER, J.; D, B. **Sprinkler and trickle irrigation”**. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990. **le**. New York, USA, 1990.

KRUSKAL, J. B.; SHEPARD, R. N. A nonmetric variety of linear factor analysis. **Psychometrika**, v. 39, n. 2, p. 123–157, 1974. Springer.

KUMAR, D. S.; BARAH, B. C.; RANGANATHAN, C. R.; et al. An analysis of farmers’ perception and awareness towards crop insurance as a tool for risk management in Tamil Nadu. **Agricultural Economics Research Review**, v. 24, n. 1, p. 37–46, 2011. Agricultural Economics Research Association.

LEITE, K. N.; VASCONCELOS; SHEILA, R.; et al. Análise dos indicadores de sustentabilidade dos perímetros irrigados do Baixo Acaraú e Curu, localizados no estado do Ceará. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 83–91, 2009.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, 2005.

LIMA, J. E. F. W. .; FERREIRA, R. S. A. .; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. Brasília, Distrito federal, 1999.

LIMA, S.; LOPES, W. G. R.; FAÇANHA, A. C. Urbanização e crescimento populacional: reflexões sobre a cidade de Teresina, Piauí. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 1, p. 31–51, 2017.

LOCK, K.; POMERLEAU, J.; CAUSER, L.; ALTMANN, D. R.; MCKEE, M. The global burden of disease attributable to low consumption of fruit and vegetables: implications for the global strategy on diet. **Bulletin of the World health Organization**, v. 83, n. 2, p. 100–108, 2005. SciELO Public Health.

LONG, M. D. Constraints on subduction geodynamics from seismic anisotropy. **Reviews of Geophysics**, v. 51, n. 1, p. 76–112, 2013. Wiley Online Library.

MARTORANO, L. G. Reuso da água da chuva pelo projeto IrrigaPote: Estratégia de produção agrícola resiliente na Amazonia. In: A. Editora (Org.); **O meio ambiente e a interface dos sistemas social e natural 2**. Atena Edit ed., 2020.

MACUÁCUA, S. F. Alocação da terra na produção das principais hortícolas no Vale do Infulene. , 2005. Universidade Eduardo Mondlane.

MAIER, R. Knowledge management systems: information and communication technologies for knowledge management. **Computing Reviews**, v. 46, n. 1, p. 24, 2005.

MALONEY, E. M.; MORRISSEY, C. A.; HEADLEY, J. V; PERU, K. M.; LIBER, K. Can chronic exposure to imidacloprid, clothianidin, and thiamethoxam mixtures exert greater than additive toxicity in *Chironomus dilutus*? **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 156, p. 354–365, 2018. Elsevier.

MANZATO, A. J.; SANTOS, A. B. A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa. **Departamento de Ciência de Computação e Estatística–IBILCE–UNESP**, v. 17, 2012.

MARTINS, J. M. Gestão do conhecimento. **Lisboa: Edições Sílabo**, 2010.

MARTORANO, L. G. Reuso de água da chuva pelo projeto irrigapote: estratégia de produção agrícola resiliente na Amazonia. In: M. E. D. Silva (Org.); **O meio ambiente e a interface dos sistemas social e natural**. p.1–15, 2020. Ponta grossa, Parana, Brazil.

MARTORANO, L. G.; BERHE, A. A.; MORAES, J. R. DA S. C. DE; et al. Water Replenishment in Agricultural Soils: Dissemination of the IrrigaPot Technology. **Soil Moisture**. p.78–88, 2018. IntechOpen.

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA AGROECOSSISTEMAS Estado da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 17, n. 1, p. 41–59, 2000.

MASA, M. D. A. E. S. A. **Anuário de Estatísticas Agrárias**. Maputo, Moçambique, 2015.

MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D. C. DOS; SOUSA, F. DE A. S. DE; FILHO, M. F. G. Análise climatológica, classificação climática e variabilidade do balanço hídrico cimatológico na bacia do rio Uruçui Preto, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 4, p. 652–664, 2013.

DE MESQUITA SOUSA, BIANCA LARISSA; PELEJA, J. R. P.; DE MESQUITA SOUSA, BRENDA LETICIA; et al. Índice de Estado Trófico de Lagos de Águas Claras Associados ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 76–89, 2018.

MIRANDA, W. D. DE; SILVA, G. D. M. DA; FERNANDES, L. DA M. M.; SILVEIRA, F.; SOUSA, R. P. DE. Desigualdades de saúde no Brasil: proposta de priorização para alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 39, p. 119-122, 2023. SciELO Brasil.

MONDAL, R. C. Farming with a pitcher: A technique of water conservation. **World crops**, p. 26–35, 1974.

MONDAL, R. C. Pitcher farming is economical [Índia, melons, cucurbit fruits]. **World Crops**, 1978.

MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: Uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. **Revista Brasileira de Economia**, v. 74, n. 4, p. 441–464, 2020.

MORAES, J. R. DA S. C. DE. Modelagem agrometeorológica para previsão de produtividade de açaizeiro. , 2017. Universidade Estadual Paulista (Unesp).

DE MORAES, J. R. DA S. C.; ROLIM, G. DE S.; MARTORANO, L. G.; et al. Performance of the ECMWF in air temperature and precipitation estimates in the Brazilian Amazon. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 141, p. 803–816, 2020. Springer.

MORAES, J. R. DA S. C.; MARTORANO, L. G.; BARBOSA, A. M. DA S.; et al. Performance do modelo ECMWF nas estimações de chuva e temperatura do ar no município de Belterra, Pará. , 2018. *In*: Seminário De Pesquisa Da Floresta Nacional Do Tapajós, Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Lucieta/Martorano/publication/321964962\\_](https://www.researchgate.net/profile/Lucieta/Martorano/publication/321964962_)

MOURA DE CARVALHO, C.; LEITE, K. N.; VASCONCELOS, R. S.; COSTA, R. N. T.; LUÍS DE FRANÇA CAMBOIM NETO, R. N. F. M. Análise dos indicadores de sustentabilidade dos perímetros irrigados do Baixo Acaraú e Curu, localizados no estado do Ceará.,v.2,p.83–91,2010.

MUNDIAL, B. Estratégia Nacional de Assistência para Recursos Hídricos em Moçambique. , 2007. Fazer a Água Actuar para o Crescimento Sustentável e a Redução de Pobreza.

NAMARA, R.; UPADHYAY, B.; NAGAR, R. K. **Adoption and impacts of microirrigation technologies: Empirical results from selected localities of Maharashtra and Gujarat States of India**. IWMI, 2005.

NATIONS., U. U. Sustainable Development Goals: sustainable development knowledge platform. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.>>.

NATIONS, U. 17 Objetivos para Transformar o Nosso Mundo. **Guia sobre Desenvolvimento Sustentável**,p.1–38,2016,

NETO, J. ALVES; CARNEIRO; EUNICE MAIA DE ANDRADE , MORSYLEIDE DE FREITAS ROSA, F. S. B. M.; LOPES, J. F. B. **Índice de Sustentabilidade Agroambiental Para O Perímetro Irrigado Ayres De Souza**. Lavras, 2008.

NETO, P. L. V.; GONÇALVES, H. C. **Relatório Final - Visão Estratégica Para O Planejamento e Gerenciamento Dos Recursos Hídricos e do Solo, Frente às Mudanças Climáticas e para o desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica do Rio Amazonas**. Brasília, Distrito Federal, 2006.

NEWELL, S.; SCARBROUGH, H.; SWAN, J. **Managing knowledge work and innovation**. Bloomsbury Publishing, 2009.

NIASSE, M. Coordinating land and water governance for food security and gender equality. **Stockholm: GWP**, 2017.

NICHOLS, C. G.; LEDERER, W. J. Adenosine triphosphate-sensitive potassium channels in the cardiovascular system. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, American Physiological Society Bethesda, v. 261, n. 6, p. H1675–H1686, 1991. MD.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa**. Rio de Janeiro, 1997.

NONAKA, I. A empresa criadora de conhecimento. **Harvard Business Review**, v. 11, 1991.

NONAKA, I.; KONNO, N. The concept of “Ba”: Building a foundation for knowledge creation. **California management review**, v. 40, n. 3, p. 40–54, 1998a. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.

NONAKA, I.; KONNO, N. The concept of Ba building a foundation for knowledge creation. **California Manangement review**, v. 40, n. 3, p. 40–54, 1998b.

NONAKA, I.; NISHIGUCHI, T. **Knowledge emergence: Social, technical, and evolutionary dimensions of knowledge creation**. Oxford University Press, 2001.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **The Knowledge-creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation**. Oxford University Press, 1995.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. The knowledge-creating company. **Harvard business review**, v. 85, n. 7/8, p. 162, 2007.

NONAKA, I.; TOYAMA, R. The knowledge-creating theory revisited: knowledge creation as a synthesizing process. **Knowledge management research & practice**, v. 1, n. 1, p. 2–10, 2003a.

NONAKA, I.; TOYAMA, R. The knowledge-creating theory revisited: knowledge creation as

a synthesizing process. **Knowledge Management Research & Practice**, v. 1, n. 1, p. 2–10, 2003b.

NONAKA, I.; TOYAMA, R.; HIRATA, T. **Managing flow: A process theory of the knowledge-based firm**. Springer, 2008.

OLIVEIRA, INOCENCIO JUNIOR DE; FONTES, JOSÉ ROBERTO ANTONIO; DIAS, M. C. B. J. F. **Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no estado do Amazonas**. Manaus, 2019.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do norte do estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 2, n. 28, p. 531–555, 2011.

PAPE-LINDSTROM, P. A.; LYDY, M. J. Synergistic toxicity of atrazine and organophosphate insecticides contravenes the response addition mixture model. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 16, n. 11, p. 2415–2420, 1997. Wiley Online Library.

PATRÍCIA, E.; ABAD, G. Proposta De Fixação De Preço Da Água Para Irrigação Na Agricultura, Utilizando A Metodologia Da Programação Matemática Positiva, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

PENA, R. F. A escassez de água no Brasil Brasil Escola. **Acessado em**, v. 24, 2018.

PEREIRA, F. C. M.; SILVA, E. F. DA. Criação do Conhecimento Organizacional Baseada nos Capacitadores de Von Krogh , Nonaka e Ichijo : Estudo de Caso Baseada Nos Capacitadores De Von Krogh, Nonaka E Ichijo : Estudo De Caso. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 8, n. 1, p. 20–43, 2019.

PEREIRA, P. A. A. Evidências de domesticação e disseminação do feijoeiro comum e conseqüências para o melhoramento genético da espécie. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 19–23, 1990.

PHILIPPI, D. A. O modelo de eficácia contingente de transferência de tecnologia de bozeman: estudo da experiência de escolas de agricultura de universidades no Brasil e nos Estados Unidos da América, 2015.

PHILIPPI JR, A.; ROMERO, M. DE A.; BRUNA, G. C. Curso de gestão ambiental. **Curso de gestão ambiental**. p.12-45, 2014.

PINHEIRO, A. Avaliação das variáveis hidrológicas do balanço Hídrico em área agrícola com cultivo de milho (*Zea mays*) através de uso de lisímetro. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 1, n. 12, p. 73–81, 2010.

PINHEIRO, A. A. **Manejo da irrigação utilizando umidade do solo e dados climáticos em lavoura de cafeeiro conilon.**, 2019. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/handle/10/10964>>.

PINHEIRO, J. C. V. .; AMARAL, C. R. .; CARVALHO, R. M. Análise da viabilidade sócioambiental da fruticultura irrigada no Baixo Jaguaribe, Ceará. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 3–17, 2010.

PINHEIRO, P. V.; DE FARIA, J. C. **Fluxo gênico em feijoeiro comum: ocorrência e possíveis conseqüências**. Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

PNUD. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2015. O trabalho como motor do desenvolvimento humano**. New York, USA, 2015.

PRIBADI, H. Ba, Japanese-Style Knowledge Creation Concept: A Building Brick of Innovation Process inside Organization. **Jurnal Teknik Industri**, v. 12, n. 1, p. 1–8, 2010.

PROBST, G.; RAUB, S.; ROMHARDT, K. Preservando o conhecimento. **Gestão do conhecimento: os elementos construtivos do sucesso**. Tradução de Maria Adelaide Carpigiani. Porto Alegre: Bookman, p. 175–193, 2002.

PROBST, G.; RAUB, S.; ROMHARDT, K. **Gestão do conhecimento: os elementos construtivos do sucesso**. Bookman Editora, 2009.

RASKIN; GLEICK; KIRSHEN; PONTIUS; STRZEPEK. Increasing the Resistance and Resilience of Tropical Marine Ecosystems to Climate Change. **A User's Manual for Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems**, p. 157, 2003.

RAYKOV, T. Estimation of composite reliability for congeneric measures. **Applied**

**Psychological Measurement**, v. 21, n. 2, p. 173–184, 1997. SAGE Publications,

REZENDE, S. O. **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações**. Editora Manole Ltda, 2003.

RIBEIRO, A. C. F.; BRITES, R. S.; JUNQUEIRA, A. M. R. Os aspectos ambientais no processo decisório do produtor rural: Estudo de caso Núcleo Rural Taquara. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 686–691, 2006. SciELO Brasil.

RIBEIRO, S. B. J. **Gestão de Inundações**, 2018.

RIEU-CLARKE, A.; MOYNIHAN, R.; MAGSIG, B.O. **Transboundary Water Governance and Climate Change Adaptation**. UNESCO, 2015.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Rev. Bras. Agrometeorol**, v. 6, p. 133–137, 1998.

ROSS, A. Speeding the transition towards integrated groundwater and surface water management in Australia. **Journal of hydrology**, v. 567, p. e1–e10, 2018.

RUBENSTEIN, A. H.; GEISLER, E. **Installing and managing workable knowledge management systems**. Greenwood Publishing Group, 2003.

SANTOS, L. S. DOS; MARTORANO; GUERREIRO, L.; et al. Aspecto Fisiográficos da Floresta Nacional do Tapajós e seu Entorno - Oeste do Pará, Brasil. **Espacios**, v. 38, n. 2, 2017.

SCANLON, B. R.; FAUNT, C. C.; LONGUEVERGNE, L.; et al. Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 109, n. 24, p. 9320–9325, 2012. National Acad Sciences.

SCANLON, B. R.; KEESE, K. E.; FLINT, A. L.; et al. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 20, n. 15, p. 3335–3370, 2006. Wiley Online Library.

SECKLER, D.; AMARASINGHE, U.; MOLDEN, D.; SILVA, R. DE; BARKER, R. **World**

**Water Demand and Supply, 1990 to 2025 : Scenarios and Issues. Research Report 19.** 1998.

SEMA, S. DE E. DE M. A. **Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará.** Belém, 2012.

SEN, A.; GHOSH, M. M. An efficient framework for sustainable travel culture based on Cronbach's alpha test. AIP Conference Proceedings. **Anais...** . v. 2869, 2023. AIP Publishing.

SENAR. **Irrigação : gestão e manejo.** 2019.

SETSAN, S. T. DE S. A. E N. **Secretariado Técnico de Segurança Alimentar e Nutricional Metodologia da recolha de Dados.** Maputo, Moçambique, 2014.

SHAH, T.; BURKE, J.; VILLHOLTH, K. G.; et al. Groundwater: a global assessment of scale and significance. , 2007.

SHENG, H. S. Fan Sheng-Chih Shu: An Agriculturist Book of China. , 1974. Written by Fan Sheng-Chih in the First Century BC: Science Books, Beijing, China.

SILVA, A. DE S.; MAGALHAES, A. A. DE; SANTOS, E. D.; MORGADO, L. B. **Irrigação por potes de argila: descrição do método e testes preliminares.** 1982.

SILVA, L. É. P.; BRACHT, E. Uma nova abordagem para o cálculo de balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 2, n. 1, p. 2–16, 2010.

SILVA, M. DE N. A. DA; PESSOA, F. C. L.; SILVEIRA, R. N. P. DE O.; ROCHA, G. S.; MESQUITA, D. A. Determinação da homogeneidade e tendência das precipitações na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 665–675, 2018. SciELO Brasil.

SILVA, M.; LINGNAU, R.; GODOY, W.; BORTOLUZZI, S. INDICADORES PROPOSTOS NA LITERATURA NACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA FAMILIAR. **Revista Monografias Ambientais**, v. 15, n. 1, p. 37–52, 2016.

SILVA, R. O. B. DA; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. DE. Tendências de

mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 579–589, 2017. SciELO Brasil.

SILVA, S. **O clima e a vulnerabilidade socioambiental: interações na região costeira da Amazônia.**, 2021. Universidade Federal do Pará. Disponível em: <<https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/15864>>. .

SILVA, S. C. F.; PELEJA, J. R. P.; MELO, S. Flutuação temporal de cianotoxinas (Microcistina) no rio Tapajós (Santarém, Amazônia-Brasil). **Scientia Plena**, v. 15, n. 8, 2019.

SILVA, J.; MARTORANO, L.; OLIVEIRA, R. **PotPlus: Agrotecnologia social para irrigacao.** Curitiba, Brasil: CRV, 2021.

SIMONETTI, V. C.; DA CUNHA, D. C.; ROSA, A. H. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 1–27, 2019.

SIQUEIRA, A. P. DA S.; MARTORANO, L. G.; MORAES, J. R. DA S. C. DE; et al. Irrigapote : Aprendizagem Coletiva Na Utilização De Tecnologia Irrigapote : Collective Learning in the Use of Sustainable, n. July, 2018.

SITOE, P. R.; MINA, P.; AGUIAR, I. M. C. Gestão de Efluentes Municipais da ETAR da Cidade de Maputo e Arredores: Situação actual, impactos e desafios. , 2019. Maputo: Universidade Pedagógica.

SITOE, T. A. Evolução Dos Sistemas Agrários No Vale Do Infulene , Cidade Da Matola - Província De Maputo : Uma Abordagem Sistêmica. **Centro universtario da Franca**, p. 1–23, 2008.

SOUSA, B. L. DE M. **Situação socioproductiva da agricultura familiar camponesa no “Planalto sojeiro” de Santarém-Pará**, 2022. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA.

SOUSA, M. A.; JÚNIOR, J. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; MESQUITA, M. Nota técnica: estimativa de viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central no estado de goiás. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 1, p. 22–29, 2019.

Revista Engenharia na Agricultura.

DE SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden–Julian oscillation. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 26, n. 13, p. 1759–1776, 2006. Wiley Online Library.

SOUZA F. Oferta hídrica do estado por região hidrográfica. Workshop internacional de inovação tecnológica na irrigação. **Anais...** . p.1–15, 2016. Fortaleza, Ceara: FATEC.

DE SOUZA, P. J. O. P.; ORTEGA-FARIAS, S.; DA ROCHA, E. J. P.; DE SOUSA, A. M. L.; DE SOUZA, E. B. Consumo hídrico da soja no nordeste paraense. **Irriga**, v. 1, n. 01, p. 218, 2016.

SOUZA, R. O. R. D. M.; PANTOJA, A. V.; AMARAL, M. A. C. M.; AUGUSTO, J.; NETO, P. CENÁRIO DA AGRICULTURA IRRIGADA NO ESTADO DO PARÁ. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 177–188, 2012.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. On the conservative behavior of biomass water productivity. **Irrigation Science**, v. 25, p. 189–207, 2007. Springer.

STEIN, T. M. The influence of evaporation, hydraulic conductivity, wall-thickness, and surface area on the seepage rates of pitchers for pitcher irrigation. **Journal of Applied Irrigation Science**, v. 321, p. 65–83, 1997.

STEWART, T. A. **A riqueza do conhecimento: o capital intelectual e a organização do século XXI**. Campus, 2002.

SU, F.; WU, J.; HE, S. Set pair analysis-Markov chain model for groundwater quality assessment and prediction: A case study of Xi'an city, China. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 25, n. 1–2, p. 158–175, 2019. Taylor & Francis.

TABARI, R.; MOHAMMAD, M.; YAZDI, A. Conjunctive use of surface and groundwater with inter-basin transfer approach: case study Piranshahr. **Water resources management**, v. 28, p. 1887–1906, 2014. Springer.

TEIXEIRA, E. P. **Gestão Do Conhecimento E Rede Colaborativa: Modelo Conceitual E Representação Do Conhecimento Em Unidade De Conservação De Uso Sustentável**, Programa de Pós Graduação Sociedade Natureza e Desenvolvimento, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.

TEIXEIRA, W. Waine Teixeira Júnior Appraising of Water sustainability ratings of Rondonópolis MT de recursos naturais e possíveis impactos ambientais na bacia do rio Vermelho , região de nível de criticidade 72 , n. 5, v. 10, 2016.

TESTEZLAF, R. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações, Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp-FEAGRI.2011.

THODE, B. DE A. X.; CUNHA, T. V. DA. Avaliação de riscos hídricos corporativos aplicação das ferramentas water risk filter e aqueduct. , 2015. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **he Water Balance. Laboratory of Climatology.** enterton: New Jersey, United States, 1955.

TOMO, S. X. **Impactos Sócio-ambientais da Ocupação Espontânea do Vale do Infulene" A" no Município da Matola (2000–2018)**, 2018. Universidade Pedagógica.

TRIPATHI, S. K.; SHARMA, B.; MEENA, S. K. Pitcher irrigation system: a water saving approach. **Indian Farmer**, v. 4, n. 8, p. 696–699, 2017.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI.** Oficina de Textos, 2014.

UELE, D. I.; LYRA, G. B.; OLIVEIRA, J. F. DE. Variabilidade espacial e intranual das chuvas na região sul de moçambique, África Austral. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 473–484, 2017. SciELO Brasil.

UNEP. **Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Africa.** , 2019. London; Washington. Disponível em: <[www.unep.or.jp/ietc/publications](http://www.unep.or.jp/ietc/publications)>.

UYANAH, D. A.; NSIKHE, U. I. The Theoretical and Empirical Equivalence of Cronbach Alpha and Kuder-Richardson Formular-20 Reliability Coefficients. **International Research**

**Journal of Innovations in Engineering and Technology**, v. 7, n. 5, p. 17, 2023.

DE VASCONCELOS, F. C. **Dinâmica organizacional e estratégia: imagens e conceitos**. Cengage Learning, 2007.

VAN BEEK, E.; ARRIENS, W. L. **Water security: Putting the concept into practice**. Global Water Partnership Stockholm, 2014.

VASUDEVAN, P.; THAPLIYAL, A.; DASTIDAR, M. G.; SEN, P. K. Pitcher or clay pot irrigation for water conservation. Proc Int Conf on Mechanical Engineering. **Anais...**, 2007.

VEIGA, J. E. DA. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 24, p. 39–52, 2010. SciELO Brasil.

VENKATESH, V.; MORRIS, M. G.; DAVIS, G. B.; DAVIS, F. D. User acceptance of information technology: Toward a unified view. **MIS quarterly**, p. 425–478, 2003. JSTOR.

VIEIRA, T. A.; PANAGOPOULOS, T. Urban forestry in brazilian amazonia. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3235, 2020. MDPI.

VILLA, B. DE; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; et al. Balanço hídrico climatológico: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. 1–9, 2022.

DE VILLA, B.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; et al. Balanço hídrico climatológico: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e50211626669–e50211626669, 2022.

VILLAR, P. C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 85–102, 2016. SciELO Brasil.

VITORINO, M. I.; DA SILVA DIAS, P. L.; FERREIRA, N. J. Observational study of the seasonality of the submonthly and intraseasonal signal over the tropics. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 93, n. 1–2, p. 17–35, 2006. Springer.

WADA, Y.; VAN BEEK, L. P. H.; WANDERS, N.; BIERKENS, M. F. P. Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, p. 34036, 2013.

WERNKE, R.; LEMBECK, M.; BORNIA, A. C. As considerações e comentários acerca do capital intelectual. **Revista da FAE**, v. 6, n. 1, 2003.

WITTER, S. G.; WHITEFORD, S. Water security: the issues and policy challenges. **International Review of Comparative Public Policy**, v. 11, p. 1–25, 1999.

WRI, W. R. I. Aqueduct: measuring and mapping water risk. Disponível em: <<http://www.wri.org/our-work/project/aqueduct%3E>>. .

WWF; COMPACT, UNEP FINANCE INITIATIVE AND UN GLOBAL, I. PARTNERSHIP WITH. GROWING WATER RISK RESILIENCE: AN INVESTOR GUIDE ON AGRICULTURAL SUPPLY CHAINS. **Principals for responsables investments, WWF**, p. 1–44, 2018.

XAVIER, L.; OLIVEIRA, M.; TEIXEIRA, E. Teorias utilizadas nas investigações sobre gestão do conhecimento. **RISTI (Porto)**, 2012.

ZANCHETTA, T. C.; FERREIRA, D. H. L.; SUGARA, C. R. Estações de Tratamento de Água: Indicadores de Sustentabilidade. xvii Forum Ambiental. **Anais...** . p.1–12, 2021.

ZHUO, L.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The effect of inter-annual variability of consumption, production, trade and climate on crop-related green and blue water footprints and inter-regional virtual water trade: A study for China (1978–2008). **Water research**, v. 94, p. 73–85, 2016. Elsevier.

## ANEXOS

## ANEXO I. DECLARAÇÃO DO COMITÊ DO BIOÉTICA



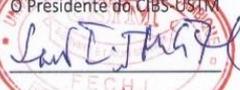
UNIVERSIDADE SÃO TOMÁS DE  
**MOÇAMBIQUE**

COMITÉ INSTITUCIONAL DE BIOÉTICA DA UNIVERSIDADE S.  
TOMAS DE MOÇAMBIQUE - CIBS-USTM

TERMO DE RECOMENDAÇÃO DE CONTINUAÇÃO DE PESQUISA CIENTÍFICA

O Comité Institucional de Bioética para Saúde da Universidade São Tomás de Moçambique, embora reconhecendo que este não envolva ser humano no âmbito dos seus objectivos, apreciou o projecto de pesquisa científica sob o título: *Indicadores de Sustentabilidade na Agricultura Familiar Irrigada sob condições climáticas na Amazônia Brasileira e em Moçambique na África*, da Sra. Dilma Ázira Ismael Carlos, Doutoranda em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Oeste do Pará e considerou que o mesmo está sendo desenvolvido obedecendo os critérios e normas éticos, podendo, portanto ser implementado em Moçambique, nas condições nele referidas.

Maputo, 20 de Setembro de 2021

O Presidente do CIBS-USTM  
  
FECHJ  
REGISTO LEGÍTIMO  
Simião L. Manhaze

## ANEXO II TERMO DE CONSENTIMENTO



Universidade Federal do Oeste do Pará  
 Instituto de Biodiversidade e Florestas  
 Programa de Pós-Graduação Sociedade, Natureza e Desenvolvimento

Antes de começar, avalie se é possível colaborar com a pesquisa acadêmica \*

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado para participar da pesquisa intitulada: **Indicadores de Sustentabilidade na Agricultura Familiar Irrigada sob condições climáticas na Amazônia e em Moçambique**. Seu nome foi selecionado devido a importância de sua atuação profissional relacionada com atividades na agricultura. Neste documento você possui todas as informações necessárias sobre a pesquisa que está sendo realizada. Sua participação é importante, mas não é obrigatória. Portanto, lhe convidamos a ler detalhadamente as informações necessárias sobre a pesquisa e não se apresse em decidir. Será muito rápida e você apenas levará alguns minutos clicando na opção mais pertinente ao seu conhecimento sobre o assunto. Caso você não concorde em participar ou quiser desistir disso não causará nenhum prejuízo a você. Se concordar em participar, basta que assine esta declaração concordando com o conteúdo. Esta pesquisa não trará riscos e nem comprometerá de forma alguma, pois os dados serão altamente pessoais e sigilosos. Vamos necessitar de sua especial atenção e pedir desculpas por ocupar seu tempo por no máximo 15 minutos, mas acreditamos que será uma alegria contribuir com a evolução do conhecimento no seu país. Para evitar esses riscos, abordaremos o tema com brevidade e as questões de forma resumida, ou seja, de fácil entendimento. O questionário é composto por perguntas que necessitam de preenchimento (abertas) e outras mais específicas para categorizar nosso universo amostral (fechadas) e na grande maioria em múltipla escolha com um simples clicar na que achar mais pertinente. Saiba que os benefícios que sua participação trará para a ciência poderão contribuir com a melhoria do conhecimento em torno das agrotecnologias de irrigação, a partir da análise de percepções quanto a atual gestão dos recursos hídricos na agricultura. Reforçamos que as informações obtidas através deste estudo serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação. Os dados obtidos não serão divulgados de forma a possibilitar sua identificação. Todo o material coletado será arquivado em local seguro durante cinco anos e não será utilizado para outro fim sem sua devida autorização. Você não receberá nenhum

Universidade Federal do Oeste do Pará – PPGSND – Unidade Amazônia  
 Av. Mendonça Furtado, nº 2.946, sala 116, Bairro: Fátima, CEP: 68040-470 E-mail:  
 secppgsnd@gmail.com / secretariasnd@ufopa.edu.br



**Universidade Federal do Oeste do Pará**  
**Instituto de Biodiversidade e Florestas**  
**Programa de Pós-Graduação Sociedade, Natureza e Desenvolvimento**

tipo de benefício financeiro pela participação no estudo, entretanto, caso você tenha algum custo decorrente da sua participação, esse valor será ressarcido pelos responsáveis do estado. Os resultados esperados no final da pesquisa serão (1) diagnósticos dos principais riscos associados as bacias hidrográficas de Oeste do Pará e do Sul de Moçambique e sua influência na agricultura familiar, e (2) perceber como estes podem afetar a sustentabilidade da atividade agrícola quanto ao uso dos recursos hídricos(3) subsidiar estratégias de ações voltadas ao melhoramento das condições de oferta hídrica aos agricultores, principalmente os pequenos produtores que demandam de novas tecnologias e de baixo custo para atender as demandas em cultivos irrigados. Por favor, verifique se você está suficientemente informado (a) acerca da pesquisa, solicitamos sua concordância com os termos e condições de forma livre e espontânea para partilhar seus conhecimentos, como participante. Assim sendo, coloque o seu nome no local indicado, foram também designados três (3) grupos fictícios para qual você poderá selecionar um de acordo com a sua profissão. Em caso de dúvidas sobre o estudo ou prejuízo de sua participação sinta-se à vontade em partilhar com os responsáveis da pesquisa a qualquer momento. A Professora Lucieta Guerreiro Martorano (PhD) do PPGSND/UFOPA e da Rede BioNorte, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental/NAPT-MA é a orientadora do Projeto, Email: [lucieta.martorano@embrapa.br](mailto:lucieta.martorano@embrapa.br) e [martorano.lucietta@gmail.com](mailto:martorano.lucietta@gmail.com), bem como a Dilma Ázira Ismael Carlos (Msc) que é doutoranda da Universidade Federal do Oeste do Pará-UFOPA, Email: [Div.carlos@gmail.com](mailto:Div.carlos@gmail.com).

Diante das explicações, você acha que está suficientemente informado (a) sobre a pesquisa que será realizada e declara que leu e entendeu os objetivos, riscos e benefícios de sua participação na pesquisa e concorda em participar como colaborador?

Sim, concordo \_\_\_\_\_  
 Não, discordo \_\_\_\_\_

## ANEXO III QUESTIONÁRIO



Universidade Federal do Oeste do Pará  
 Instituto de Biodiversidade e Florestas  
 Programa de Pós-Graduação Sociedade, Natureza e Desenvolvimento

**Indicadores de sustentabilidade na Agricultura Irrigada na Amazônia Oriental e na África Austral (Brasil e Moçambique)**

Estimado respondente,

Você é muito importante para a nossa pesquisa. Somos um grupo da Universidade Federal do Oeste do Pará e a sua contribuição irá melhorar bastante o encaminhamento da nossa tese de Doutorado do Programa Sociedade, Natureza e Desenvolvimento na área de Ciências Ambientais. Para o efeito, vimos solicitar a sua ajuda para preencher o questionário, com o objetivo de analisar os *Indicadores socio econômicos e ambientais para a sustentabilidade no processo de irrigação na Amazônia Oriental e na África Austral (usando como países de referência o Brasil e Moçambique)*. Os dados fornecidos por você irão contribuir para futuras publicações e recomendações úteis sobre o gerenciamento da água, no processo da irrigação impulsionando a utilização consciente e sustentável dos recursos hídricos.

Garantimos-lhe segurança e confidencialidade em toda a informação fornecida pois a mesma será utilizada apenas para fins de pesquisa. Preferencialmente, a coleta seria presencial, devido as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) em contexto de pandemia tivemos restrições e enviamos a plataforma digital. Pedimos que disponibilize 15 minutos do seu tempo para preenchimento e, adicionalmente, ao final do questionário envie. Também, solicitamos que compartilhe esse link com o maior número de pessoas, ou potenciais grupos focais que trabalhem na área de agricultura. Em caso de dúvidas, disponibilizamos o número de contato, email e encontros digitais através da plataforma Google Meet durante todos os dias úteis da semana. Agradecemos desde já a sua imprescindível colaboração no preenchimento deste questionário e pedimos que as respostas sejam o mais sinceras possível.

Contatos:

Email: [Diy.carlos21@gmail.com](mailto:Diy.carlos21@gmail.com)

Telefone: +258828186660 / +258848186669 (WhatsApp)

Google meet link: <https://meet.google.com/cje-hahf-rikh?authuser=0>

Assinaturas:

Dilma Azira Imael Carlos  
(Doutoranda)

Lucieta Guerreiro Martorano, PhD  
(Orientadora)

Sergio Melo, PhD  
(Coordenador do SND)



Universidade Federal do Oeste do Pará

Instituto de Biodiversidade e Florestas

Programa de Pós-Graduação Sociedade, Natureza e Desenvolvimento

Este questionário foi elaborado no âmbito de uma pesquisa de Avaliação do Impacto das técnicas de irrigação usadas pelos produtores, sendo comparadas iniciativas realizadas na Amazônia Brasileira e em Moçambique. Agradecemos desde já, a sua colaboração.

**I. Dados gerais**

1. Qual é o seu país de origem

Brasil \_\_\_

Moçambique \_\_\_

2. Número \_\_\_\_\_

3. Data \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

4. Localidade \_\_\_\_\_

5. Município \_\_\_\_\_

6. Bairro \_\_\_\_\_

**II. Informações pessoais**

5. Profissão \_\_\_

A- Arara (pesquisadores, estudantes, extensionistas, sector publico)

B- Papagaio (associação de produtores, produtores agrícolas, )

C- Pavão (ONGS, sector privado, agroindústrias )

6. Sexo: M \_\_\_\_\_ F \_\_\_\_\_

7. Nacionalidade \_\_\_\_\_

8. Naturalidade \_\_\_\_\_

9. Indique a sua idade

a) De 18 a 25 anos \_\_\_\_\_

b) De 26 a 33 anos \_\_\_\_\_

c) De 34 a 41 anos \_\_\_\_\_

d) De 42 a 49 anos \_\_\_\_\_

e) De 50 a 58 anos \_\_\_\_\_

f) De 59 a 66 anos \_\_\_\_\_

g) Acima de 67 anos \_\_\_\_\_

10. Anos de experiência / trabalho com a agricultura \_\_\_\_\_ (anos)

11. Área de atuação /Ramo de atividade \_\_\_\_\_

**III Escolaridade**

12. Não alfabetizado \_\_\_\_\_  
 13. Até nível primário \_\_\_\_\_ curso técnico \_\_\_\_\_  
 14. Até nível secundário \_\_\_\_\_ nível superior \_\_\_\_\_  
 15. Outros \_\_\_\_\_

**II. Culturas produzidas:** \_\_\_\_\_

Cereais \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

Oleaginosas \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

Hortícolas \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

Fruteiras \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

Área cultivada \_\_\_\_\_ (hectares)

16. O que motivou a selecionar as culturas que produz?  
 1. Conveniência                      2. Mercado                      3. Hábito e costumes  
 4. Restrições hídricas  
 5. Outros \_\_\_\_\_
17. Prática agricultura irrigada?  
 1. Sim                      2. Não                      3. Não sei responder
18. Qual é o método de irrigação que utiliza  
 A) Aspersão    2. Localizada    3. Microirrigação  
 4. Outros \_\_\_\_\_

19. Caso use um método de irrigação diferente dos mencionado acima, mencione:

**III. Percepção sobre a fonte de recurso hídrico:**

20. Qual é o ponto de captação da água? \_\_\_\_\_
21. Onde adquire a água que usa para irrigar  
 A) Fontanárias \_\_\_\_\_    2. Água subterrânea \_\_\_\_\_    3. Rios \_\_\_\_\_    4. Bombeamento de água canalizada \_\_\_\_\_  
 5. Água da chuva \_\_\_\_\_    6. Outros \_\_\_\_\_
22. Se tem alguma fonte diferente das opções mencionadas, por favor indique:  
 \_\_\_\_\_
23. Em que época do ano consegue obter maiores dificuldades para irrigar?  
 1. Estação seca \_\_\_\_\_    2. Estação chuvoso \_\_\_\_\_    3 Estação intermédia \_\_\_\_\_    4. Não sei responder \_\_\_\_\_
24. Classifique os meses do ano em que os cultivos são irrigados na sua propriedade ou região. (0 representa nenhuma irrigação e 5 necessidade permanente de irrigar).

Meses	Nenhuma (1)	Ligeira (2)	Intermédia (3)	Forte (4)	Intensiva (5)
-------	-------------	-------------	----------------	-----------	---------------

Janeiro					
Fevereiro					
Marco					
Abril					
Mai					
Junho					
Julho					
Agosto					
Setembro					
Outubro					
Novembro					
Dezembro					

25. Em que periodo do dia costuma irrigar?  
 1. De manhã \_\_\_\_ 2. De tarde \_\_\_\_ 3. De noite \_\_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_\_.

26. Com que frequência costuma irrigar?  
 1. Diariamente \_\_\_\_ 2. Duas vezes por dia \_\_\_\_ 3. Semanalmente \_\_\_\_ 4. Depende da disponibilidade de água \_\_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_\_.

27. Qual é o distanciamento a fonte mais próxima de água \_\_\_\_ (km)

28. Existem alternativas para além da que costuma utilizar para irrigar.

A) Sim \_\_\_\_ 2. Não \_\_\_\_.

Se sim, quais são \_\_\_\_\_

29. Quais são os principais eventos climáticos extremos frequentes na região?

A) Inundações 2. Estiagem 3. Tornados 4. Outros \_\_\_\_\_

30. Relativamente às enchentes / inundações, quais acha que são as suas causas (duas mais importantes)

Chuvas intensas

Falta de construção de canais de escoamento da água das chuvas

Falta de manutenção/limpeza dos canais de escoamento existentes

Falta de construção de infraestruturas de retenção de água das chuvas (como diques, etc.)

Falta de manutenção de infraestruturas de retenção de água das chuvas.

#### IV. Indicadores de qualidade

31. Como avalia o custo de instalação de sistema de irrigação.

1. Baixo \_\_\_\_ 2. Razoável \_\_\_\_ 3. Alto \_\_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_\_

32. Como avalia o custo que pago ao fornecedor da água.

1. Baixo \_\_\_\_ 2. Razoável \_\_\_\_ 3. Alto \_\_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_\_

33. Como avalia a água que usa para rega em termos de presença de:

## a) Presença de Sedimentos

1. Baixo \_\_\_ 2. Razoável \_\_\_ 3. Alto \_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_

## b) Salinidade

1. Baixo \_\_\_ 2. Razoável \_\_\_ 3. Alto \_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_

## c) Turbidez

1. Baixo \_\_\_ 2. Razoável \_\_\_ 3. Alto \_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_

## d) Outros \_\_\_\_\_

1. Baixo \_\_\_ 2. Razoável \_\_\_ 3. Alto \_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_

## 34. Como avalia a qualidade de água disponibilizada para a irrigação.

1. Ruim \_\_\_ 2. Razoável \_\_\_ 3. Boa \_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_

## 35. Como avalia a quantidade de água que usa na irrigação

1. Ruim \_\_\_ 2. Razoável \_\_\_ 3. Boa \_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_

## 36. Outros fatores adicionais que queira compartilhar sobre a água que usa na irrigação

---



---



---

## V. Consumo de água

## 37. A capacidade de recarga do aquífero é superior a demanda.

1. Sim \_\_\_ 2. Não \_\_\_ 3. Não sei responder \_\_\_

## 38. Que dificuldades encontra no gerenciamento da água para irrigar

---

## 39. Costuma utilizar fertilizantes ou outros defensivos agrícolas durante o processo produtivo?

1. Sim \_\_\_ 2. Não \_\_\_ 3. Não sei responder \_\_\_

## 40. Quais são os mecanismos de vazão?

---

## 41. Qual é a frequência de manutenção do equipamento de irrigação?

1. Trimestral \_\_\_ 2. Semestral \_\_\_ 3. Anual \_\_\_ 4. Não sei responder \_\_\_

## 42. Como é feito o monitoramento do consumo da água?

---



---

## 43. O sistema de irrigação utilizado é alimentado por fonte de energia:

1. Elétrica \_\_\_ 2. Eólica \_\_\_ 3. Solar \_\_\_ 4. Combustíveis 5. Outros \_\_\_\_\_

44. Faz algum reaproveitamento da água em sua propriedade?  
1. Sim\_\_ Não\_\_ Não sei\_\_
45. Considera que consegue fazer o devido aproveitamento da água proveniente das chuvas  
1. Sim\_\_ 2. Não\_\_ 3. Não sei\_\_
46. Após o processo de rega, verifica uma rápida absorção da água pelas plantas?  
1. Sim\_\_ 2. Não\_\_ 3. Não sei\_\_
47. Acha que a exploração excessiva dos recursos hídricos na agricultura tem causado uma subexploração da água disponível nos mananciais?  
1. Sim\_\_ 2. Não\_\_ 3. Não sei\_\_

Se sim, Porque \_\_\_\_\_

#### VI. Interação social

48. Costuma partilhar experiências ou conhecimentos sobre os recursos hídricos na sua comunidade?  
1. Sim\_\_ 2. Não\_\_ 3. Não sei\_\_
49. Quais as iniciativas locais para conservação das bacias hidrográficas.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
50. Como é feita a partilha da água entre os produtores?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
51. Quais são as atividades que tem propiciado a erosão nas zonas suscetíveis  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
52. Conhece algumas agrotecnologias de irrigação?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
53. O que lhe motivaria a mudar o seu atual sistema de irrigação?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ANEXO IV GUIÃO DE ENTREVISTA

### Guião de Entrevista

Título do Projecto: Indicadores de sustentabilidade na Agricultura familiar Irrigada sob condições da Amazônia Brasileira e em Moçambique

Este guião de Entrevista foi elaborado no âmbito de um trabalho de Avaliação do Impacto das técnicas de irrigação usadas pelos produtores, sendo comparadas iniciativas realizadas na Amazônia Brasileira e em Moçambique. Agradecemos desde já, a sua colaboração.

Data de Preenchimento \_\_/\_\_/\_\_ (D/M/A)

- A- Volumes de consumo interno de Água para irrigação (demanda, oferta)
- B- Principais mecanismos de gestão/Instrumentos de gestão de Recursos hídricos.
- C- Como e feita a outorga de água de irrigação
- D- Principais mecanismos de diferenciação na oferta de recursos hídricos as categorias de produtores
- E- Bacias hidrográficas do sul de Moçambique e seus mecanismos de vazão.
- F- Principais desafios em relação aos recursos hídricos na agricultura
- G- Área total irrigada
- H- Número de usuários
- I- Existem mecanismos de irrigação sustentável
- J- Principais métodos e agrotecnologias de irrigação disponíveis no país.
- K- Principais culturas Irrigadas.
- L- Costuma partilhar experiências ou conhecimentos sobre os recursos hídricos na sua comunidade?
- M- Quais as iniciativas locais para conservação das bacias hidrográficas.
- N- Como é feita a partilha da água entre os produtores?

Muito Obrigada

## ANEXO V. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ESTUDO

**Quadro 15** Descrição das variáveis no estudo

Variveis	Categorização	Premissas	Sinal esperado
Descritivas			
Proveniência	Binária	Codifica-se com o valor 1 se for moçambicano e 0 se não for	Espera-se verificar se há diferenças significativa na proveniência dos irrigantes do Vale ( $\neq$ )
Sexo	Binária	Assume o código “0” para o masculino e “1” para o feminino	Espera-se entender a inclusão do gênero no gerenciamento dos RH (+)
Idade	Catagórica	Representa sete grupos subdivididos em faixas etárias dos 18 até acima de 67 anos de idade com intervalo de 7 anos	Pode ter o valor positivo ou negativo consoante a idade dos produtores (+/-)
Experiência na agricultura	Numérica	Assume números crescentes dependendo dos anos de trabalho	O valor positivo indica o aumento do tempo dispendido na profissão (+)
Escolaridade	Catagórica	Assume 6 grupos representando o nível de educação	Assume o valor positivo ou negativo consoante o nível de educação dos produtores (+/-)
Culturas produzidas	Catagórica	Assume 4 grupos de culturas	Valor correspondente a cada categoria de culturas (+)
Área	Numérica	Número de canteiros que cada produtor possui	Somatório dos canteiros (+)
Indicadores de qualidade de quantidade	Escala de likert	Assume valor 1- Baixo 2- Razoável 3- Alto 0- Não sei responder	Valores altos indicam a percepção que os recursos hídricos tem a qualidade e quantidade suficiente para atividade agrícola.
Custo pago ao fornecedor	Escala de likert	Assume valor 1- Baixo 2- Razoável 3- Alto 0- Não sei responder	Valores altos indicam a que o fornecedor de energia é pouco acessível e custoso ao produtor
Custo de instalação	Escala de likert	Assume valor 1- Baixo 2- Razoável 3- Alto 0- Não sei responder	Valores altos indicam a dificuldade de obtenção de sistemas pressurizados de irrigação
Turbidez	Escala de likert	Assume valor 1- Baixo 2- Razoável 3- Alto 0- Não sei responder	Valores altos indicam a turbidez da água disponível

**Quadro 15.** Descrição das variáveis no estudo (cont.)

Presença de sedimentos	Escala de likert	Assume valor 1- Baixo 2- Razoável 3-Alto 0-Não sei responder	Valores altos indicam a presença de indicadores biológicos na água interferindo na qualidade
Salinidade	Escala de likert	Assume valor 1- Baixo 2- Razoável 3-Alto 0-Não sei responder	Valores altos indicam a presença de salinização na água interferindo na qualidade da água
Turbidez	Escala de likert	Assume valor 1- Baixo 2- Razoável 3-Alto 0-Não sei responder	Valores altos indicam a presença de turbidez da água disponível
Capacidade de recarga do aquífero	Escala de likert	Assume valor 1- Baixo 2- Razoável 3-Alto 0-Não sei responder	Valores altos indicam o equilíbrio do ecossistema em torno da bacia hidrográfica

Fonte: Autoria própria (2023)

## ANEXO VI. ANÁLISE FATORIAL

**Component Matrix<sup>a</sup>**

	Component			
	1	2	3	4
Q4	.769			
Q5	.707			
Q3	.639			
Q6	.540			
Q9		.715		
Q1		-.567		-.565
Q7				
Q2				
Q10			.697	
Q8				

Extraction Method: Principal Component Analysis.

a. 4 components extracted.

**Total Variance Explained**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
	1	2.286	22.857	22.857	2.286	25.277	25.277	1.964	19.640
2	1.588	15.884	38.741	1.588	16.574	41.851	1.444	14.436	34.076
3	1.241	12.406	51.147	1.241	13.5826	55.433	1.415	14.153	48.229
4	1.099	10.995	62.142	1.099	12.103	67.536	1.391	13.913	62.142
5	.961	9.611	71.752						
6	.750	7.497	79.249						
7	.696	6.956	86.205						
8	.563	5.632	91.837						
9	.431	4.314	96.150						
10	.385	3.850	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.686
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square
	50.621
	df
	36
	Sig.
	.001