

**AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO NA CAATINGA: ESTUDO DE CASO  
PROJETO RURAL SUSTENTÁVEL CAATINGA**

Vanina Zini Antunes de Mattos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em Planejamento  
Energético, COPPE, da Universidade Federal  
do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de Doutor em  
Planejamento Energético.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas  
(IVIG/ PPE / COPPE / UFRJ)

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2025

**AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO NA CAATINGA ESTUDO DE CASO  
PROJETO RURAL SUSTENTÁVEL CAATINGA**

**Vanina Zini Antunes de Mattos**

**TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.**

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Aprovada por: Prof. Dr. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Prof. Dr. Amaro Olimpio Pereira Junior

Prof. Dr. Neilton Fidelis da Silva

Prof. Dr. Ednaldo Oliveira dos Santos

Prof. Dr. Jorge Henrique Alves Prodanoff

Profa. Dra. Salete Alves de Moraes

**RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL**

**FEVEREIRO DE 2025**

Mattos, Vanina Zini Antunes de

Agricultura de baixo carbono na Caatinga: estudo de caso Projeto Rural Sustentável Caatinga / Vanina Zini Antunes de Mattos - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2025

XV, 145p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Tese (doutorado) - UFRJ/COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2025

Referências Bibliográficas: p. 119-140.

1. Tecnologias agrícolas de baixo carbono.
  2. Mudanças climáticas.
  3. Mitigação da Emissão de Gases de Efeito Estufa.
  3. Análise FOFA.
  4. Análise Multicritério.
  5. Estudo de caso PRS Caatinga.
- I. Freitas, Marcos Aurélio Vasconcelos de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título

A meus filhos Bruno e Isabel,  
por terem passado a maior parte de suas vidas  
com a mãe fazendo a tese de doutorado.  
Uma eternidade, para eles!

Que essa vivência os ensine a serem perseverantes  
para atingirem seus sonhos,  
por mais longo que o caminho possa parecer.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, especialmente ao meu marido Marcelo pela paciência e por ter vivido esse longo período do doutorado tão intensamente comigo, me apoiando sempre.

Agradeço, com imenso carinho e admiração, aos meus pais Benedito e Letizia por todo incentivo, estímulo, apoio e inspiração para prosseguir nos estudos e fazer o doutorado. Obrigada pela revisão do texto.

Agradeço ao meu orientador Prof. Marcos Freitas, por acreditar em mim, compartilhar sua experiência e proporcionar oportunidades de crescimento profissional e de amadurecimento.

Agradecimento especial à querida Renata Barreto que foi a grande motivadora da minha escolha pela Caatinga, dividindo sua paixão pelo bioma e experiência na área. Ela foi fundamental também na reta final desta minha trajetória, dando um estímulo crucial na finalização dos artigos e me mantendo confiante para não desaninar.

Agradecimento caloroso às “Powers Girls”, Bruna Guerreiro Tavares e Giselle Parno Guimarães, pela jornada juntas no PRS Caatinga, muito importante para ajudar a delinear melhor minha pesquisa e tornar essa jornada mais agradável e em ótima companhia, num período de isolamento da pandemia.

Agradeço ao saudoso Prof. Luiz Pinguelli Rosa (*in memoriam*) pela sua atenção e dedicação, pelos seminários e reuniões com seus alunos (Zilton, Cíntia, entre outros) e pelos grandes ensinamentos.

Agradeço aos meus colegas de curso da COPPE, em especial à Camila Motta, grande parceira durante o período das disciplinas, principalmente de matemática e economia.

Agradeço à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado.

Agradeço a toda equipe do Projeto Rural Sustentável (PRS) Caatinga pela confiança e poder ter feito parte desse Projeto. Agradeço ao Fundo Climático Internacional do Governo do Reino Unido (DEFRA) ao Banco Interamericano para o Desenvolvimento (BID), ao Ministério da Agricultura e da Pecuária (MAPA) instituições beneficiárias do Projeto que foi executado pelo Fundo Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável (FBDS).

Agradeço ao caro Paulo Maurício Senra pelas sugestões e contribuições fundamentais na análise hierárquica (AHP).

Agradeço à Sandra Bernardo por todo apoio, amizade e assistência nos trâmites burocráticos.

Agradeço aos colaboradores das entidades consultadas, que contribuíram com suas experiências sobre a produção agropecuária na Caatinga.

Agradeço a todos meus amigos próximos que vivenciaram essa minha longa jornada. Obrigada pelo convívio, positivismo e momentos de descontração.

Agradeço às minhas gatas, Geleia e Carambola, pela companhia durante a escrita da tese e por me acalmarem.

Sou grata por ter descoberto, neste período, o ciclismo de montanha, esporte que me identifiquei totalmente e que me ajudou a desestressar e a consolidar alguns pensamentos.

**“Pensava que quando se sonha tão grande  
a realidade aprende.”**

**- Valter Hugo Mãe -**

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.).

## **AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO NA CAATINGA ESTUDO DE CASO PROJETO RURAL SUSTENTÁVEL CAATINGA**

Vanina Zini Antunes de Mattos

Fevereiro / 2025

Orientador: Dr. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Programa: Planejamento Energético

Área de Concentração: Meio Ambiente

Esta tese aborda a mitigação da emissão de gases de efeito estufa no setor agropecuário com uso de Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono (TecABC), para minimizar os efeitos das mudanças climáticas. O objetivo é analisar as TecABC viáveis para os pequenos produtores rurais da Caatinga, devido à vulnerabilidade ambiental e socioeconômica, para planejar estratégias de adaptações para uma produção resiliente. Foram identificadas as Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA), já bastante difundidas no bioma, que pudessem ser associadas às TecABC potencializando-as. Foram feitas análises de Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça e de multicritério para avaliar o uso das TecABC na agropecuária da Caatinga. Entre elas, a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é a mais indicada para todas as atividades, em geral, seguida pelo Manejo Sustentável de Florestas (MSF) e pela Recuperação de Áreas Degradadas com Pastagem (RAD-P), no caso de produção de alimentos para os ruminantes. O Projeto Rural Sustentável Caatinga serviu como um estudo de caso de sucesso para analisar a implantação dessas TecABC em municípios prioritários. O Projeto promoveu uma agricultura resiliente e, para isso, contou com várias ações em conjunto: as TS-CSA, o fortalecimento da Assistência Técnica Rural (ATER) e do Cooperativismo com o desenvolvimento da Bioeconomia local.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.).

## LOW CARBON AGRICULTURE IN CAATINGA THE CAATINGA SUSTAINABLE RURAL PROJECT CASE STUDY

Vanina Zini Antunes de Mattos

February / 2025

Advisor: Dr. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Department: Energy Planning

Concentration Area: Environment

This thesis addresses the mitigation of greenhouse gas emissions in the agricultural sector using Low Carbon Agricultural Technologies (LCAT) to minimize the effects of climate change. The aim is to analyze the viable LCATs for small rural holders in the Caatinga, given their environmental and socio-economic vulnerability, in order to plan adaptation strategies for resilient production. The Social Technologies for Coexistence with the Semi-Arid (ST-CSA), which are already widespread in the biome, were identified and could be associated with the LCAT to enhance their potential. Strength, weakness, opportunity, threat and multi-criteria analyses were carried out to assess the use of the LCAT in Caatinga agriculture. Among them, the Integration of Crop-Livestock-Forest (ICLF) is the most suitable for all activities, in general, followed by Sustainable Forest Management (SFM) and Recovery of Degraded Areas with Pasture (RDA-P), in the case of ruminant food production. The Caatinga Sustainable Rural Project served as a successful case study to analyze the implementation of these LCATs in priority municipalities. The project promoted resilient agriculture and, to this end, relied on several joint actions: the ST-CSA, the strengthening of Rural Technical Assistance (ATER) and Cooperativism with the development of the local Bioeconomy.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO, OBJETIVO E ESTRUTURA DA TESE .....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Justificativa .....	4
1.3. Hipótese .....	5
1.4. Objetivo .....	5
1.4.1. Objetivo Geral .....	5
1.4.2. Objetivos Específicos .....	6
1.5. Estrutura da Tese.....	6
 CAPÍTULO 2: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EMISSÃO DE GEE E RELAÇÃO COM O SEMIÁRIDO .....	7
2.1. Mudanças Climáticas, emissão de GEE e as consequências.....	7
2.2. Vulnerabilidade da produção agrícola nas regiões semiáridas, frente às mudanças climáticas .....	10
2.3. Impactos no meio ambiente, socioeconomia e agropecuária da Caatinga, frente às mudanças climáticas .....	12
 CAPÍTULO 3: PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NA CAATINGA .....	17
3.1. Produção agropecuária na Caatinga: uma transição sustentável .....	17
3.2. Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) para minimizar a vulnerabilidade das populações rurais da Caatinga às mudanças climáticas .....	19
3.2.1. Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) relacionadas à água.....	26
3.2.2. Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) relacionadas à produção de alimentos .....	30
3.2.3. Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) relacionadas à energia.....	32
 CAPÍTULO 4 - Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) e a necessidade de Capacitação .....	33
4.1. Dificuldades de implementação de novas tecnologias .....	33
4.2. Transmissão de conhecimento e capacitação para adoção de novas tecnologias .....	34
4.3. Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) na Caatinga .....	36

CAPÍTULO 5: METODOLOGIA .....	38
5.1 Área de Estudo .....	38
5.1.1. Caracterização do Semiárido Brasileiro .....	38
5.1.2. Caracterização do Bioma Caatinga .....	38
5.1.3. Definição das Áreas de Estudo: Experiência PRS Caatinga .....	42
5.2. Levantamento de dados para as análises.....	50
5.2.1 Revisão bibliográfica .....	51
5.2.2. Entrevistas semiestruturadas .....	56
5.2.3. Dados do PRS Caatinga .....	59
5.3 Análise dos dados .....	60
5.3.1. Análise de Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça (FOFA).....	60
5.3.2. Análise Multicritério - Processo Analítico Hierárquico (AHP) .....	62
5.3.3. Análise de Risco .....	65
5.3.4. Estudo de Caso PRS Caatinga .....	66
 CAPÍTULO 6: Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono (TecABC) na Caatinga....	68
6.1. As TecABC e adaptação à Caatinga - oportunidades, desafios e ações .....	68
6.2. TecABC e os municípios prioritários do PRS Caatinga .....	74
6.3. TecABC específicas para produção de forragens para ruminantes .....	82
6.4. Avaliação das TecABC na produção de forragem na Caatinga .....	85
6.5. TecABC e outras vertentes de agricultura sustentável .....	99
 CAPÍTULO 7: Análise do Projeto Rural Sustentável (PRS) Caatinga .....	101
7.1. Mapa Mental: metas e ações do PRS Caatinga .....	102
7.2. Fortalecimento de Arranjos Produtivos Locais (APL) e do Cooperativismo	105
7.3. Atividades realizadas .....	106
7.4. Acompanhamento da Implantação das TecABC na Caatinga .....	107
7.5. PRS Caatinga em números.....	109
7.6. Considerações a respeito do PRS Caatinga.....	1112
 CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	117
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	119
 ANEXO .....	141

## Lista de Figuras

Figura 1 - Estimativas das emissões brasileiras de GEE, por setor produtivo (2016)...	1
Figura 2 - Fluxo de ações de adaptação e mitigação a partir das alterações climáticas.	9
Figura 3– Mapa de distribuição espacial da vulnerabilidade global à seca agrícola...	10
Figura 4- Áreas afetadas pela desertificação no Brasil.....	13
Figura 5– Açude seco do Instituto Agronômico de Pernambuco, Serra Talhada/PE..	15
Figura 6- Subcategorias de TS-CSA relacionadas à água. ....	22
Figura 7- Subcategorias de TS-CSA relacionadas à produção de alimentos. ....	22
Figura 8- Subcategorias de TS-CSA relacionadas à energia.....	23
Figura 9– Horta comunitária em Dormentes/PE, com irrigação de água do poço. ....	28
Figura 10– Delimitação do semiárido brasileiro e da Caatinga.....	39
Figura 11- Cenário da Caatinga na estação seca. ....	40
Figura 12– Fogão à lenha no sertão de Pernambuco. ....	41
Figura 13- Localização das cinco microrregiões com delimitação de seus municípios e classificação quanto à cobertura vegetal (pobreza verde e pobreza vermelha). ....	44
Figura 14– As Ecorregiões do bioma Caatinga. ....	46
Figura 15- Zoneamento Climático da região onde se encontram os 37 municípios....	47
Figura 16- Perfil das entidades consultadas. ....	57
Figura 17– Estrutura hierárquica da AHP. ....	63
Figura 18- Fluxograma da AHP. ....	63
Figura 19- Relação entre as TecABC na Caatinga. ....	69
Figura 20- Matriz FOFA da ILPF para as 5 microrregiões.....	76
Figura 21- Matriz FOFA do MSF para as 5 microrregiões.....	77
Figura 22- Matriz FOFA da RAD-F para as 5 microrregiões. ....	78
Figura 23- Matriz FOFA da RAD-P para as 5 microrregiões. ....	79
Figura 24- Matriz FOFA da FBN para as 5 microrregiões. ....	80
Figura 25- Matriz FOFA do MDA para as 5 microrregiões. ....	81
Figura 26- Matriz FOFA do SPD para as 5 microrregiões.....	81
Figura 27– Relação das TecABC, potencializadas pelas TS-CSA, na produção de forragem para os ruminantes da Caatinga. ....	85
Figura 28- Mapa de decisão da análise de risco. ....	92
Figura 29- Mapa mental com metas e estratégias para implantação das TecABC. ..	104

## **Lista de Quadros**

Quadro 1- Os principais impactos na Caatinga que a torna vulnerável às mudanças climáticas e que precisam de estratégias de adaptação.....	16
Quadro 2- Elenco das estratégias levantadas para produção agropecuária em ambiente semiárido.....	19
Quadro 3- Principais TS-CSA relacionadas às TecABC na Caatinga.....	24
Quadro 4- TS-CSA empregadas principalmente para uso coletivo na Caatinga. ....	25
Quadro 5- Aspectos importantes evidenciados nos ATER que atuam na Caatinga. ...	37
Quadro 6- Características dos três climas zonais predominantes nas microrregiões..	47
Quadro 7- Características da vegetação savana estépica da Caatinga presente nas microrregiões. ....	48
Quadro 8- Informações agropecuárias referentes às cinco microrregiões.....	52
Quadro 9- Entidades levantadas com atuação na Caatinga.....	57
Quadro 10- Roteiro das entrevistas semiestruturadas. ....	58
Quadro 11– Escala Fundamental de Saaty. ....	64
Quadro 12- Matrizes FOFA das TecABC ILPF, MSF e RAD-P. ....	86
Quadro 13– Roteiro das entrevistas semiestruturadas e a relação com os critérios para a AHP. ....	87
Quadro 14- Resultados da FOFA e a relação com os critérios da AHP. ....	88
Quadro 15- Descrição dos critérios e subcritérios da AHP e sua relação com a análise de risco. ....	89
Quadro 16- Componentes do PRS Caatinga e suas ações. ....	101
Quadro 17- Impactos ambientais nas áreas com as TecABC após 10 meses de implantação. ....	108
Quadro 18– Perfil das famílias produtoras na Caatinga envolvidas no Projeto. ....	110
Quadro 19- Análise da Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça (FOFA) do PRS Caatinga. ....	112
Quadro 20- Premissas cruciais para criação de programa de fomento para disseminação das TecABC na Caatinga. ....	115

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1- Principal solo em cada microrregião. ....	48
Tabela 2- Principais rebanhos de ruminantes nas microrregiões, em número de cabeças. ....	50
Tabela 3- Matriz de julgamento de critérios. ....	90
Tabela 4- Relevância dos critérios e subcritérios em relação a cada TecABC. ....	93
Tabela 5– Metas do PRS Caatinga e resultados alcançados com a implantação das TecABC. ....	109

## Siglas e Abreviações

- ABC - Agricultura de Baixo Carbono  
AECID - Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo  
AFOLU - *Agriculture, Forests and other Land Use*, em português: uso da terra para floresta e agricultura  
AHP - *Analytic Hierarchy Process*, em português: Processo Analítico Hierárquico  
ANA - Agência Nacional das Águas  
APL - Arranjos Produtivos Locais  
APP - Áreas de Preservação Permanente  
ATER - Assistência Técnica e Extensão Rural  
AUR - Área de Uso Restrito  
BDIA - Banco de Dados de Informações Ambientais  
BID - Banco Interamericano para o Desenvolvimento  
CAR - Cadastro Ambiental Rural  
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
COOPVM - Cooperativa de Pequenos Produtores de Vera Mendes  
COVID-19 - coronavirus disease 2019, em português: doença por coronavírus 2019  
DEFRA - Department for Environment, Food & Rural Affairs, em português: Departamento de Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais do Reino Unido  
EFA - Escolas Famílias Agrícolas  
FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável  
FBN - Fixação Biológica do Nitrogênio  
FOFA - Análise de Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça  
GEE - Gases de Efeito Estufa  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IC - Índice de Consistência  
ILPF - Integração Lavoura-Pecuária-Floresta  
INSA - Instituto Nacional do Semiárido  
IR - Índice Randômico  
KPI - Key Products Indicator, em português: indicadores-chave.  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas  
MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária  
MDA - Manejo de Dejetos de Animais  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
MSF - Manejo Sustentável de Florestas  
MtCO<sub>2</sub>e - Milhões de Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente  
NDC - Contribuições Nacionalmente Determinadas  
ONG - Organização Não-governamental  
P1MC - Projeto Um milhão de Cisternas  
PAIS - Produção Agroecológica Integrada e Sustentável  
PML - Prioridade Média Local  
PNAPO - Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica

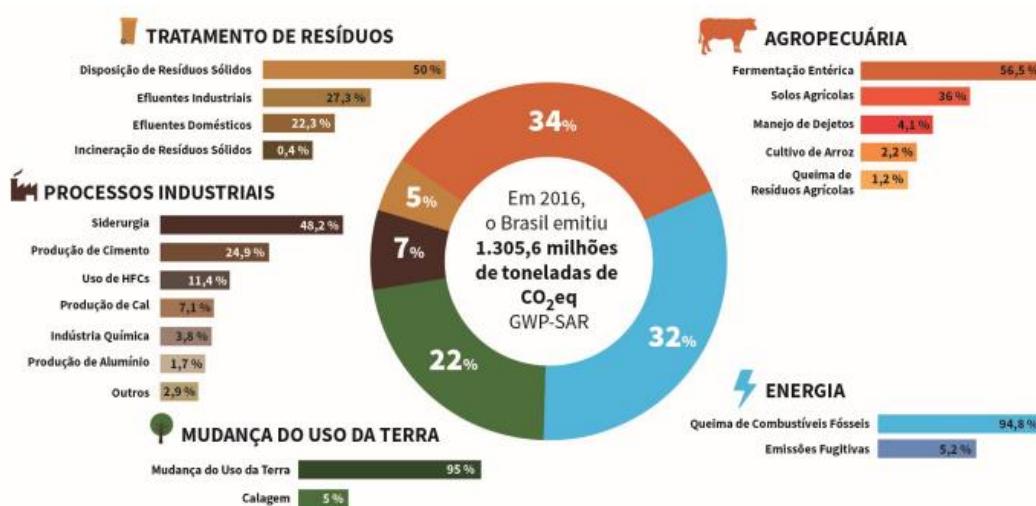
PNATER - Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural  
PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima  
PRONAF - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar  
PRS Caatinga - Projeto Rural Sustentável Caatinga  
RAD-F - Recuperação de Áreas Degradas com Florestas  
RAD-P - Recuperação de Áreas Degradas com Pasto  
RC - Razão de Consistência  
RL - Reserva Legal  
SAF - Sistemas agroflorestais  
SPD - Sistema de Plantio Direto  
SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste  
TecABC - Tecnologias Agrícolas de Baixa Emissão de Carbono  
TS-CSA - Tecnologias Sociais e de Convivência com o Semiárido  
UD - Unidades Demonstrativas  
UGP - Unidade Gestora do Projeto  
UM - Unidades Multiplicadoras  
UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas.  
UNIVASF - Universidade Federal do Vale do São Francisco

# CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO, OBJETIVO E ESTRUTURA DA TESE

## 1.1. Introdução

As alterações climáticas, causadas pela emissão excessiva de gases de efeito estufa (GEE), provocam mudanças nos regimes de chuva, que trazem inúmeras adversidades como: aumento dos períodos e intensidade das secas, desertificação, perda da fertilidade do solo, redução ao acesso à água e variações na distribuição da vegetação, levando a perdas na produção agropecuária em todo o mundo, inclusive na Caatinga (MARENGO *et al.*, 2017, 2020; TABARELLI *et al.*, 2017; ALVALÁ *et al.*, 2019; KALHAPURE *et al.*, 2019; MOURA *et al.*, 2019; LOUCKS, 2021; OLIVEIRA SANTOS *et al.*, 2022).

No Brasil, 34% das emissões brutas de GEE são provenientes das atividades agropecuárias, como: revolvimento do solo, desmatamento, uso de fertilizantes, fermentação entérica de animais ruminantes, dejetos dos animais e uso do fogo (BRASIL, 2019a). Além disso, a transformação de florestas nativas em áreas de pastagens e de cultivo faz com que o setor agricultura, florestas e usos da terra (AFOLU- *agriculture, forests and other land use*) seja a principal fonte de emissão de GEE no Brasil, 56% do total das emissões (NASUTI & LINDOSO, 2015; BRASIL, 2019a), Figura 1.



Fonte: TAVARES *et al.*, 2020c e adaptado de: BRASIL, 2019a.

Figura 1 - Estimativas das emissões brasileiras de GEE, por setor produtivo, em 2016.

O aumento da emissão de GEE causou uma preocupação mundial que levou à criação de políticas públicas, para incentivar ações de mitigação desses gases e adaptação às mudanças climáticas. Diante deste cenário, o Brasil tinha assumido o compromisso voluntário de reduzir as emissões de GEE, entre 36,1% e 38,9%, até 2020, através da Lei nº 12.187/2009 - Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) (BRASIL, 2009). O principal objetivo da PNMC era identificar ações para mitigar as emissões de GEE brasileiras, principalmente aquelas necessárias às adaptações às mudanças do clima (BRASIL, 2009).

Em seguida, foi criado o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), uma política pública com ações para adaptar a produção agropecuária às mudanças climáticas, por meio das Tecnologias Agrícolas de Baixa Emissão de Carbono - TecABC, e reduzir as emissões de GEE até 2020 (BRASIL, 2012a). Entretanto, ele não menciona especificamente a Caatinga, de forma que as metas e os modelos de financiamento criados no Programa ABC<sup>1</sup> são pouco alinhados à realidade local (TAVARES *et al.*, 2020c). A portaria Plano ABC + foi lançada para estender essas metas até 2030, com uma abordagem integrada da paisagem e com a inclusão da adoção de bioinsumos e expansão de áreas irrigadas (BRASIL, 2022). E está em elaboração o novo Plano Clima, para pensar em atualizações das medidas de mitigação, adaptação para prevenir e lidar com desastres naturais advindos das mudanças climáticas, como enchentes, secas severas e queimadas (BRASIL, 2024a).

A partir do Acordo de Paris (2015), o Brasil comprometeu-se, voluntariamente, pela Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), a reduzir 43% das emissões de GEE abaixo do nível de 2005 até 2030, usando diversas estratégias de ação, entre elas o emprego de TecABC (RATHMANN *et al.*, 2017; BRASIL, 2019a); e manteve esta meta na COP-26 em Glasgow (2021), segundo UNFCCC (2021).

Além das políticas públicas mencionadas, o Novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) (BRASIL, 2012b) também teve grande importância para incentivar a mitigação de GEE no setor agropecuário. Nele são definidas normas para a agricultura familiar (Lei 11.326/2006) (BRASIL, 2006), para a proteção da vegetação nativa em

---

<sup>1</sup> O Programa ABC foi criado como principal linha de crédito e financiamento do Plano ABC, para a implantação das tecnologias para adaptar os sistemas produtivos do setor agropecuário às mudanças climáticas e reduzir suas emissões de GEE (BRASIL, 2021).

Áreas de Preservação Permanente (APP) e de reserva legal, uso restrito, exploração florestal e para o controle de incêndios florestais (BRASIL, 2012b). Com o novo Código Florestal, além da criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), foram estabelecidas regras para que as propriedades ou posses rurais, possuidoras de áreas consolidadas, pudessem se adequar, seja por meio da adoção de boas práticas, como a adoção de TecABC, compensação ambiental ou por outros instrumentos legais previstos. Ademais, o código beneficia pequenos agricultores por permitir regras diferenciadas de acordo com o tamanho do imóvel para a regularização das APPs e de reserva legal.

E também está em tramitação o Projeto de Lei 3904/23 (BRASIL, 2023), que institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) que objetiva promover a transição agroecológica, a relação comercial de produtos sustentáveis e o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis, fazendo com que as empresas tenham que descarbonizar sua produção e promover mudanças do uso do solo para terem aceitação mundial (BRASIL, 2023).

De fato, a agricultura, bem manejada, contribui com a retirada do carbono da atmosfera, ao captá-lo e fixá-lo nas plantas e no solo; sendo este um setor onde intervenções para reduzir emissão de GEE podem ser feitas de forma eficiente (NEWTON *et al.*, 2016; KALHAPURE *et al.*, 2019; SHAJEDUL, 2021). Por este motivo, a agropecuária foi abordada neste estudo pois ao mesmo tempo em que é responsável por uma alta emissão de GEE é um setor onde as ações e respostas às estratégias de mitigação e de adaptação podem ser rápidas, de manuseio acessível e em escala local trazendo benefícios sociais e ambientais a curto prazo. Desta forma, foi feito um diagnóstico das técnicas agropecuárias existentes em regiões semiáridas a fim de serem ajustadas e implementadas na Caatinga.

Nesse contexto, as TecABC surgem como ferramentas importantes para uma adaptação resiliente para este cenário de mudanças climáticas, que têm impactado o clima de todo o planeta. Com a implementação dessas tecnologias é possível aumentar ainda mais a fixação de carbono na biomassa e mitigar a emissão de GEE, com a diminuição do desmatamento de vegetação nativa (NEWTON *et al.*, 2016; COOPER & PRICE, 2019).

As TecABC foram inicialmente pensadas para serem utilizadas em grandes sistemas produtivos nos biomas brasileiros e para médios e grandes produtores rurais (BRASIL, 2012a) e introduzi-las na Caatinga, único bioma exclusivo do Brasil, era um

grande desafio, visto que sua atividade agropecuária é principalmente exercida por pequenos produtores para subsistência e para comércio local, apesar do grande potencial produtivo para uma expansão, devido à rica cultura e tradição regional. Além do mais, a Caatinga, com clima semiárido, possui precipitação baixa e irregular, com períodos esporádicos de seca prolongada; altas temperaturas, alto índice de aridez e déficit hídrico tornando-a ainda mais vulnerável (ALVALÁ *et al.*, 2019; RANGEL *et al.*, 2020), o que justifica a implantação das TecABC.

Neste contexto, o Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga) foi pioneiro no bioma ao trabalhar ações de mitigação de GEE, ao mesmo tempo que pretendia diminuir a pobreza, aumentando a produtividade agrícola de pequenos produtores rurais da agricultura familiar em cinco estados do Nordeste: Alagoas, Bahia, Pernambuco, Piauí e Sergipe. O Projeto possuía as seguintes metas: 200 ha para recuperação de áreas degradadas, 600 ha em manejo sustentável com utilização de sistemas integrados e 200 ha em manter áreas conservadas e, além disso, pretendia expandir a adoção das Tecnologias Sociais e de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) em 17 unidades, capacitar 125 profissionais de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), ter melhoria de renda em 15% e ter um mínimo de 20 mil toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> evitada por meio da mobilização de 1500 produtores rurais. Para atingir seus resultados o PRS Caatinga utilizou um pacote de ações, que geralmente são apresentadas separadamente como diferentes políticas públicas, mostrando a possibilidade de se estabelecer uma agricultura regenerativa focada em práticas sustentáveis de forma sistêmica e estruturada, por meio das TecABC e promover a socioeconomia na região (CIANCIO *et al.* 2024).

## 1.2. Justificativa

O aumento da demanda por recursos naturais pela população, somado aos efeitos das mudanças climáticas, colocam em risco a disponibilidade desses recursos e a sustentabilidade dos serviços ambientais, que podem se tornar cada vez mais escassos. A agricultura é uma atividade essencial para a subsistência humana e está diretamente ligada aos recursos ambientais e às condições climáticas, sendo que, secas extremas influenciam no acesso e na disponibilidade desses recursos. A agricultura também é responsável por uma alta emissão de GEE e é um setor onde as ações e respostas às

estratégias de mitigação e de adaptação podem ser rápidas em escala local, trazendo benefícios sociais e ambientais a curto prazo.

Este estudo poderá ser uma importante ferramenta para tomadores de decisão e para a elaboração de projetos e políticas públicas relacionadas à mitigação da emissão de GEE e a estratégias de adaptação da produção agropecuária familiar na Caatinga frente às mudanças climáticas. Para isso é necessário conhecer as ameaças e os desafios que a comunidade enfrenta, bem como oportunidades de ações para transformação social. Aqui estão compiladas e organizadas informações sobre como as TecABC podem ser inseridas na produção agropecuária da Caatinga, de acordo com o perfil da propriedade e Arranjos Produtivos Locais (APL), a fim de reduzir o desmatamento e combater a desertificação, por meio do estudo de caso do PRS Caatinga. Desta forma, poderá haver um incremento na produção agropecuária e na economia local, melhorando a qualidade de vida do produtor e de sua renda, com aumento na segurança alimentar e permanência do homem no campo.

### **1.3.Hipótese**

Com o uso das TecABC, será possível aumentar a capacidade adaptativa da população rural da Caatinga, vulnerável aos impactos das mudanças climáticas. A partir do levantamento dessas tecnologias será possível selecioná-las e fazer os ajustes necessários à realidade da Caatinga, de forma a melhorar o acesso aos recursos naturais, aumentando a produção agropecuária e amenizando os efeitos das mudanças climáticas, proporcionando uma melhor qualidade de vida para o pequeno produtor familiar da Caatinga.

### **1.4.Objetivo**

#### **1.4.1. Objetivo Geral**

Analisar as TecABC viáveis para os pequenos produtores familiares rurais da Caatinga, como alternativa para minimizar os impactos das mudanças climáticas e planejar estratégias de adaptações de forma a se ter uma produção resiliente.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

1. Fazer um levantamento das tecnologias agrícolas sustentáveis e resilientes utilizadas em regiões semiáridas, como as TecABC, de modo a garantir acesso aos recursos naturais e proporcionar uma produção agropecuária adaptada às alterações iminentes em decorrência das mudanças climáticas;
2. Analisar as TecABC viáveis de serem aplicadas em propriedades de pequenos produtores familiares da Caatinga;
3. Compreender como as TecABC estão relacionadas com a alimentação dos ruminantes na Caatinga de forma a diminuir suas emissões de GEE;
4. Analisar o Projeto Agricultura de Baixo Carbono e Desmatamento Evitado — Fase II — Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga) como estudo de caso na implantação de TecABC na Caatinga.

#### **1.5. Estrutura da Tese**

O trabalho está dividido em oito capítulos, além das referências bibliográficas e anexo. O capítulo 1 é a introdução com o contexto da pesquisa, objetivos e hipóteses e a estrutura da tese. O capítulo 2 apresenta as mudanças climáticas, suas causas e efeitos, principalmente em regiões semiáridas e sua relação com a produção agropecuária. O capítulo 3 aborda a convivência com o semiárido brasileiro, as tecnologias sociais e um quadro da produção agropecuária da Caatinga. O capítulo 4 avalia a situação da assistência técnica rural na Caatinga e as formas de transição e transferência de novas tecnologias. Na sequência, o capítulo 5 descreve a Caatinga e apresenta os municípios estudados e o PRS Caatinga, um estudo de caso de sucesso de implantação de TecABC na Caatinga. O capítulo 6 se aprofunda nas TecABC e suas adaptações para produção agropecuária na agricultura familiar da Caatinga, com ênfase na produção pecuária, forte atividade econômica da região. Em seguida, o capítulo 7 analisa o Projeto PRS Caatinga destacando suas conquistas e inovações principalmente com o fortalecimento da bioeconomia local e do cooperativismo por meio das TecABC. Por fim, o capítulo 8 lista as principais conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EMISSÃO DE GEE E RELAÇÃO COM O SEMIÁRIDO**

### **2.1. Mudanças Climáticas, emissão de GEE e as consequências**

Os ciclos climáticos da Terra possuem dinâmicas naturais que poderiam ocorrer de uma forma mais gradual mas acabam, entretanto, sendo aceleradas devido às ações humanas, principalmente devido às atividades com grande emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) para a atmosfera, principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). A intensificação da produção industrial e agrícola, a fim de acompanhar o crescimento da população humana e sua demanda de consumo, faz com que os ciclos ambientais sejam alterados, e essas alterações são consideradas mudanças climáticas (IPCC, 2007).

Os principais fatores responsáveis pelas mudanças climáticas são as fontes de emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), entre elas: a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento, as queimadas e as mudanças no uso do solo (KALHAPURE *et al.*, 2019). O contínuo crescimento do mercado, pressiona o aumento da produtividade e, com isso, há uma intensificação no uso do solo para a agricultura, seja para produção de alimento, de forragem ou de energia. Esse impulsionamento leva ao desmatamento, perda de biodiversidade e de fertilidade do solo, diminuindo a produtividade agrícola, gerando insegurança alimentar, fome e pobreza (SHIFERAW *et al.*, 2011).

O setor agropecuário tem relevante contribuição nas emissões de GEE, mas também pode sofrer ajustes para uma produção adaptada a essas mudanças e à mitigação dessas emissões (OGLE *et al.*, 2014; SHAJEDUL, 2021). De fato, no Brasil, 34% das emissões brutas de GEE, principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ), são provenientes das atividades agropecuárias, sendo que destas, 56,5 % são representadas pela fermentação entérica dos ruminantes, com emissão de metano (NASUTI & LINDOSO, 2015; BRASIL, 2019a).

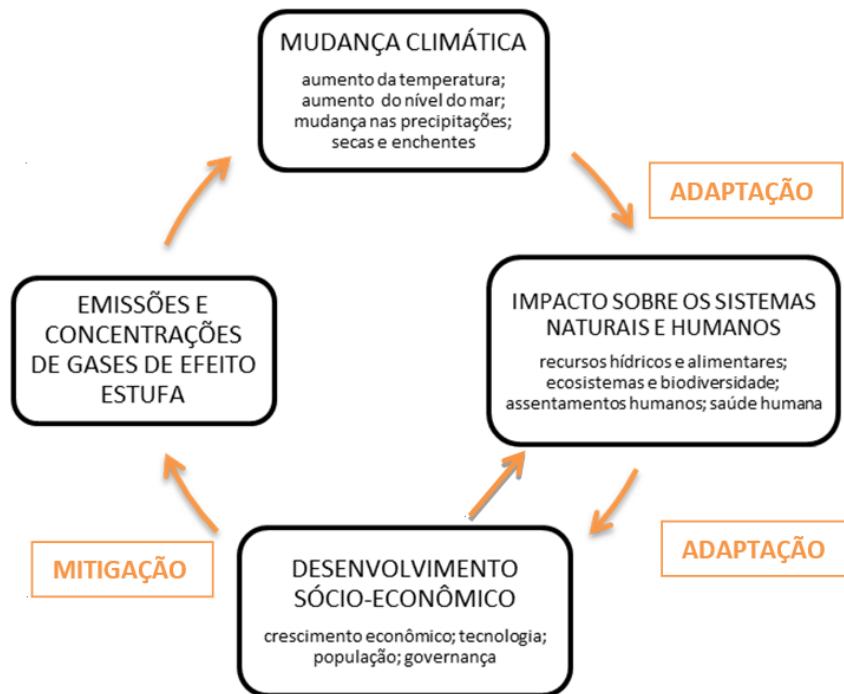
O solo é um grande reservatório de carbono, nitrogênio e metano, devido ao acúmulo de matéria orgânica e, portanto, é também um grande emissor destes gases graças à sua textura, umidade e Ph (YUSUF *et al.*, 2012). O metano ( $\text{CH}_4$ ), embora seja menos emitido para a atmosfera que o  $\text{CO}_2$ , tem uma influência 25 vezes maior no efeito estufa, pois ele demora mais para se dispersar, persistindo na atmosfera por muito mais tempo, por isso é o principal gás a ser controlado com mitigação de sua emissão,

cujas maiores fontes são: decomposição de matéria orgânica, queima de biomassa, cultivo de arroz, pântanos, represas de hidrelétricas, extração de gás natural e petróleo, digestão entérica dos ruminantes e manejo de esterco (YUSUF *et al.*, 2012). E por fim, o óxido nitroso ( $N_2O$ ) é ainda mais expressivo no efeito estufa, 298 vezes mais que o CO<sub>2</sub> e suas principais fontes de emissão também estão relacionadas à agricultura: queima de biomassa e de combustíveis fósseis, florestas, pastos, solo e fertilizantes nitrogenados (KALHAPURE *et al.*, 2019; ZUGASTI-LÓPEZ *et al.*, 2024).

O aquecimento global é um indicador, de que a mudança climática está ocorrendo, assim como outros indicadores: alteração na precipitação, nos padrões dos ventos, elevação do nível do mar, derretimento de glaciares, alteração nos períodos de floração das plantas (KALHAPURE *et al.*, 2019), entre outros. Essas alterações no clima têm surtido efeitos drásticos e impactantes de forma global, com ocorrência de eventos climáticos extremos como enchentes, tempestades, furacões, ondas de calor e secas. Estes desastres atingem a todos, mas majoritariamente às populações mais vulneráveis que, por já se encontrarem em situação de dificuldade socioeconômica, demoram mais para se restabelecer (MARENGO *et al.*, 2011; LINDOSO *et al.*, 2013). No Brasil, eventos climáticos extremos vêm ocorrendo em todo o território, desde fortes chuvas até grandes períodos de estiagem. Um dos eventos mais marcantes das últimas décadas foi o aumento da frequência de chuvas fortes nas regiões Sul e Sudeste (MARENGO, 2014), que causou uma inundação histórica no estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024 (CANUTO, 2024).

Já com relação aos períodos de seca, a região Sudeste teve a maior ocorrência em 80 anos, em 2001 que atingiu principalmente os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, desencadeando uma crise hídrica e energética em suas regiões metropolitanas por escassez de chuva e falta de planejamento na distribuição de energia elétrica. E, em 2013, a região teve um aumento de temperatura entre 1° C a 2° C acima da média registrada entre os anos 1961 e 1990 (MARENGO, 2014). Os períodos de seca também se intensificaram na região Amazônica, com secas históricas em 2005 e 2010 (MARENGO, 2014). Na Caatinga, as alterações climáticas podem mudar os regimes de chuva, aumentando o período e a intensidade das secas, causar desertificação, reduzir o acesso à água, ocasionar alterações na distribuição da vegetação e perdas na produção agropecuária (MARENGO *et al.*, 2017, 2020; TABARELLI *et al.*, 2017; ALVALÁ *et al.*, 2019; MOURA *et al.*, 2019; OLIVEIRA SANTOS *et al.*, 2022).

Frente a essas adversidades, decorrentes das alterações climáticas, são necessárias reações, adaptações, para minimizá-las, que consistem em ajustes nos sistemas socioeconômico e ambiental. No centro da estratégia de adaptação do Brasil estão as populações vulneráveis, presentes na dimensão social (Figura 2).



Fonte: Carvalho & Furtado, 2015.

Figura 2 - Fluxo de ações de adaptação e mitigação a partir das alterações climáticas.

Segundo O'BRIEN *et al.*, 2004, vulnerabilidade é o grau de susceptibilidade que uma região está exposta a um determinado fator e pode ser definida em uma função que possui três itens: sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa. Sendo que sensibilidade seria a propensão de um sistema a um determinado impacto; exposição representa o distúrbio, como eventos climáticos extremos; e, capacidade adaptativa é “o conjunto de recursos adaptativos disponíveis e o contexto político-institucional e financeiro que viabilize o acesso a esses recursos” a fim de diminuir os impactos negativos das alterações aproveitando as oportunidades (O'BRIEN *et al.*, 2004).

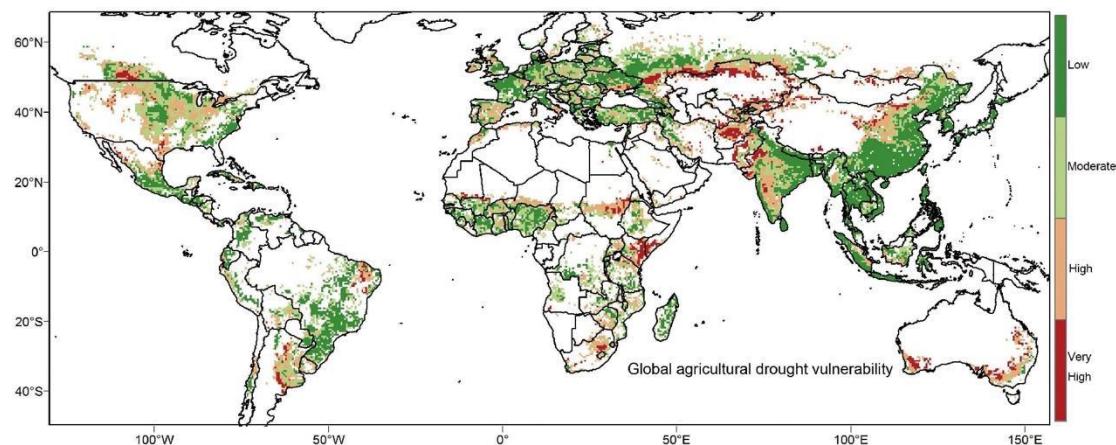
Segundo o IPCC (2001) adaptação é “um ajuste em sistemas naturais ou humanos em resposta a estímulos climáticos reais ou esperados ou a seus efeitos, o que reduz a vulnerabilidade, modera os danos ou explora oportunidades benéficas.”

## **2.2. Vulnerabilidade da produção agrícola nas regiões semiáridas, frente às mudanças climáticas**

As influências mais marcantes das mudanças climáticas na agropecuária estão relacionadas ao aumento da temperatura, que pode reduzir a duração do ciclo de algumas culturas, aumentar a perda de fertilidade do solo e afetar a densidade e distribuição populacional das pragas (KALHAPURE *et al.*, 2019). E pode gerar também um aumento do estresse hídrico, devido à redução na precipitação e distribuição irregular das chuvas e aumento da evaporação (MARENKO & BERNASCONI, 2015; MARENKO, 2017).

As regiões semiáridas estão entre os ambientes mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas (IPCC, 2014) e, em todo do mundo, a agricultura dessas regiões vem sofrendo cada vez mais impactos com as secas (Figura 3). A porcentagem de áreas com alta vulnerabilidade à seca foi mais de 30 % de toda área agrícola do mundo (WU *et al.*, 2017).

Com a diminuição de chuvas e aumento de secas e de dias quentes, a produção agrícola no semiárido de diversos países foi afetada, como os da região do Sahel (COOPER & PRICE, 2019), da África Subsaariana (VIDIGAL *et al.*, 2019); da América Latina e Caribe (AECID, 2018), o Vietnã (PHUONG, *et al.*, 2018); e reduziu o período de monções na Índia (DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016). Em Cuzco (Peru), a alta demanda de água para irrigação agrícola gerou conflito, principalmente por ser usada para produtos para exportação, aumentando ainda mais a escassez para os pequenos produtores locais (STADEL, 2019).



Fonte: WU *et al.*, 2017.

Figura 3– Mapa de distribuição espacial da vulnerabilidade global à seca agrícola.

Uma adaptação eficaz para a agricultura do semiárido é, portanto, priorizar as culturas tolerantes ao estresse hídrico, como leguminosas (feijão, lentilhas, ervilhas), mandioca, legumes e frutas (WRIGHT *et al.*, 2014; VIDIGAL *et al.*, 2019). A elevação da temperatura atmosférica, ocasiona também um aumento de temperatura das folhas devido ao fechamento dos estômatos, diminuindo a transpiração e levando a uma temperatura elevada da copa das plantas, critério importante para se identificar se uma planta está passando por estresse hídrico (NEMESKÉRI & HELYES, 2019).

A tolerância das plantas a períodos de seca está relacionada à estratégia de cada uma diante de déficit hídrico, há: plantas que escapam da seca por terem ciclo curto e o completem antes da escassez hídrica, conforme mencionado; plantas que evitam a perda hídrica com alterações morfológicas, como perder as folhas ou transformá-las em espinhos e plantas que têm tolerância à seca devido à osmorregulação e à ação de enzimas (DE LEONARDIS *et al.*, 2012), sobrevivendo assim, mesmo sofrendo com a desidratação (NEMESKÉRI & HELYES, 2019).

Além disso, a sensibilidade das plantas é influenciada pela duração da seca e pelo estágio de desenvolvimento em que ela se encontra (NEMESKÉRI & HELYES, 2019). Nos estágios iniciais do crescimento, a maioria das culturas é menos sensível à escassez de água, mas durante o estágio reprodutivo sua deficiência causa alterações nas características fisiológicas (NEMESKÉRI *et al.*, 2019a), resultando em distúrbios na fertilidade e redução da produtividade (NEMESKÉRI & HELYES, 2019). De fato, o estresse hídrico durante a floração aumenta a queda de flores como no tomateiro (BAHDUR *et al.*, 2011) e nas leguminosas, diminuindo o número e tamanho de vagens e de sementes e produzindo brotos mais curtos (DURIGON *et al.*, 2019). Os tomateiros são extremamente sensíveis à seca, principalmente durante o desenvolvimento de frutos, que podem ficar pequenos, ocasionando uma redução de 25 a 50% na produtividade (NEMESKÉRI *et al.*, 2019a; NEMESKÉRI & HELYES, 2019).

O milho também é sensível à seca, depende de chuva e, portanto, é arriscado cultivá-lo diante da previsão de seca onde não há irrigação (VIDIGAL *et al.*, 2019), embora outros autores o considerem uma cultura moderadamente tolerante ao estresse hídrico, assim como soja, feijão e ervilha (NEMESKÉRI & HELYES, 2019). A mandioca é muito produzida no semiárido por ser tolerante ao estresse hídrico e, devido ao seu poder nutritivo assume assim, um importante papel no combate à fome e à segurança alimentar (VIDIGAL *et al.*, 2019).

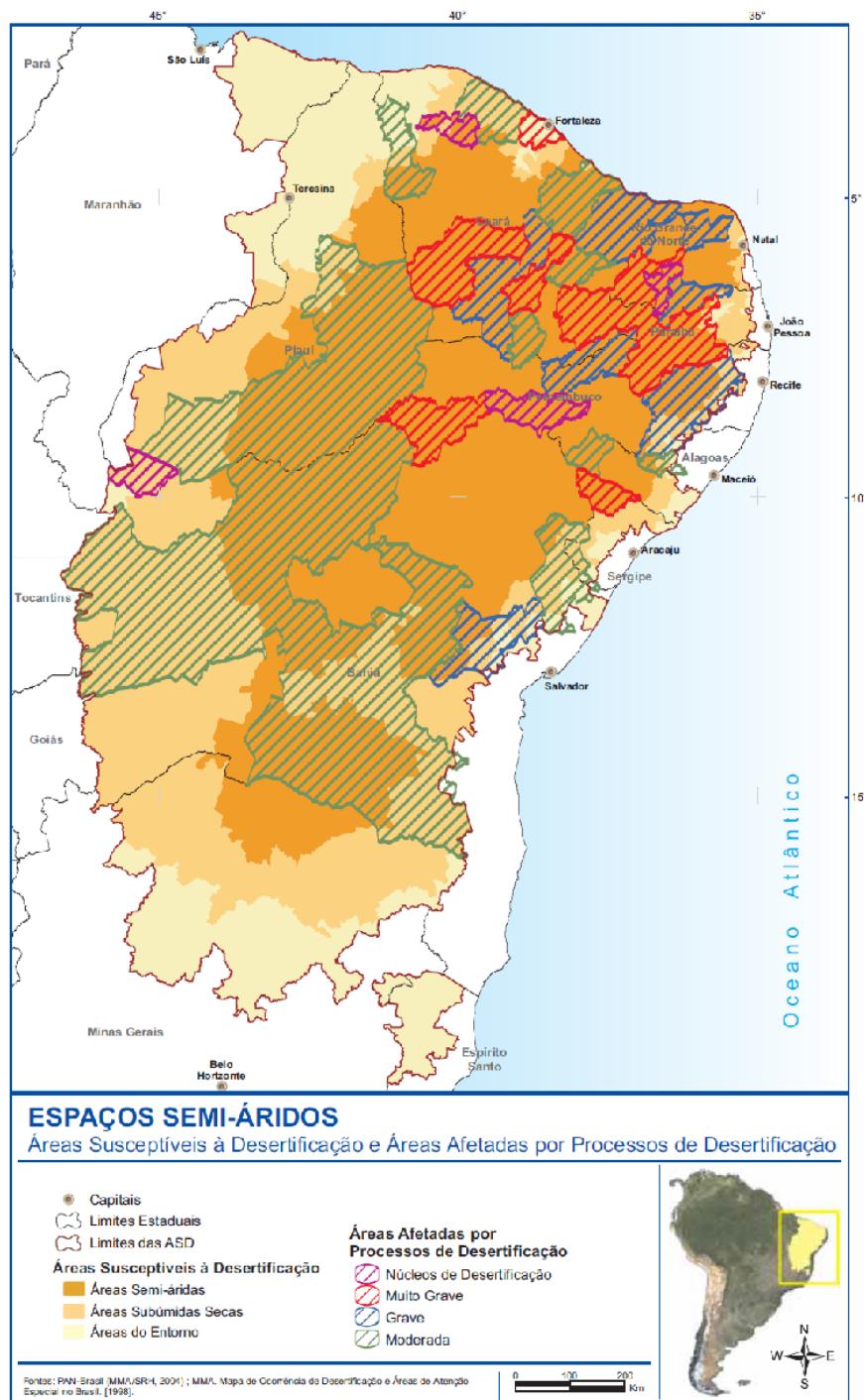
## **2.3. Impactos no meio ambiente, socioeconomia e agropecuária da Caatinga, frente às mudanças climáticas**

A Caatinga é um dos biomas brasileiros mais vulneráveis às mudanças climáticas, como mencionado anteriormente, devido à irregularidade pluviométrica, degradação do solo e risco de desertificação (IPCC, 2014; MARENGO, 2014; BEZERRA *et al.*, 2020). Ele é caracterizado por períodos de chuva intercalados com longos períodos de estiagem e as mudanças climáticas tendem a acentuar essas dinâmicas diminuindo o nível de precipitação e proporcionando uma distribuição irregular de chuvas, no tempo e no espaço, elevando a evapotranspiração e o déficit hídrico prolongando, desta forma, os períodos secos. Observou-se que o volume de chuvas tem diminuído ainda mais a partir dos anos 1970 com relação aos anos anteriores (MARENGO, 2011). E com isso, as áreas suscetíveis à desertificação no semiárido brasileiro têm aumentado, correspondem a aproximadamente a 1.340.000 km<sup>2</sup>, atingindo diretamente cerca de 36 milhões de pessoas, numa área que concentra grande parte da pobreza e miséria do país (Figura 4).

O semiárido brasileiro sofre com secas históricas, desde o século XVI (1593) que, nos últimos anos, têm sido mais intensas e, junto com as atividades humanas, acentuam a aridez local e os impactos sociais e econômicos na região (MARENGO, 2017). Para amenizar essa situação, em 1886, foram construídos os primeiros açudes, marcando o início de políticas públicas de melhoria para a população e adaptação às condições adversas da região (MARENGO *et al.*, 2017). O acesso à água é um fator de saúde e progresso para comunidades e um determinante para a fixação do homem no campo, evitando o deslocamento para grandes centros urbanos (MARENGO *et al.*, 2017). Na Caatinga, a falta de acesso a quantidades suficientes de água para consumo e produção agrícola é um problema frequente que atinge a população rural.

A agricultura local teve uma queda de até 70 % na produção de arroz, feijão e algodão, durante a seca de 1979 e 1981, com aumento de 100% dos produtos e, em 1982 e 1983, 85% dos rebanhos foram dizimados e houve um prejuízo de milhões de toneladas na produção de algodão, mandioca, milho e feijão, atingindo cerca de 29 milhões de pessoas (MARENGO *et al.*, 2017). A seca que ocorreu entre 1990 e 1995 era considerada a maior desde 1915 e a partir de então, os períodos de longa estiagem se agravaram e geraram ainda mais prejuízos, aumentando a fragilidade social da

população. A seca que se estendeu de 2012 a 2019 (MARENGO, 2017; MARINHO, 2021), foi a maior registrada até o momento e atingiu 1.100 municípios, reduzindo drasticamente a produção agropecuária e a indústria local (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014).



Fonte: MMA, 2007.

Figura 4- Áreas afetadas pela desertificação no Brasil.

Em busca de oportunidades e sobrevivência, na segunda metade do século XX ocorreram grandes migrações de refugiados da seca para o litoral nordestino e para o sul do país, com forte impacto na economia regional e nacional (MARENGO *et al.*, 2017). Esse movimento migratório também ocorreu em outras regiões semiáridas como em países africanos da região do Sahel (COOPER & PRICE, 2019) e em países subsaarianos (VIDIGAL *et al.*, 2019).

Como os períodos de estiagem são inerentes a um ambiente semiárido, o importante é saber conviver, promoção de bem-estar da população do campo, e adaptar-se a este ciclo para minimizar os impactos da seca (MARINHO, 2021). Mas, devido à grande população da Caatinga, mais de 20 milhões de habitantes (IBGE, 2019a), o uso do solo é intenso, com ações antrópicas que elevam o risco de que ele sofra uma desertificação, devido ao excesso de pastagem, que o torna mais compacto; ao aumento do número de incêndios, o desmatamento da vegetação nativa, a exploração excessiva dos aquíferos e pressão pela demanda de água, de energia, e de mudanças no uso do solo, gerando um impacto nos recursos naturais e na segurança alimentar (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014; MARENGO *et al.*, 2017).

O efeito mais marcante, decorrente das alterações climáticas nas regiões semiáridas é, portanto, a redução na disponibilidade de água superficial e subterrânea, tanto na qualidade quanto na quantidade (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012). Isso porque o solo é impermeável, por ser compacto e pouco poroso, impossibilita a absorção de água mas favorece o escoamento superficial e, consequentemente, o armazenamento em açudes, importante reserva para os meses de estiagem. Entretanto, devido às elevadas temperaturas e aumento de dias quentes (MARENGO, 2014), a evaporação da água dos açudes é acelerada e os mesmos secam antes do período de seca acabar (Figura 5).

Além do mais, o aumento na duração e na intensidade das secas pode ocasionar uma série de impactos socioeconômicos e ambientais, como mudanças na distribuição da vegetação, escassez de água e erosão, que podem ocasionar queda na produção agropecuária, devido à sua forte ligação com os recursos naturais, e a redução dos níveis de água em reservatórios para abastecimento humano, alimentação animal e geração de energia, aumentando assim o desemprego e a desnutrição, afetando a qualidade de vida do sertanejo (MARENGO & BERNASCONI, 2015; MARENGO *et al.*, 2017, 2020; TABARELLI *et al.*, 2017).



Foto: Gisele Parno (Projeto Rede Clima).

Figura 5– Açude seco do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), Serra Talhada/PE.

Neste contexto, os pequenos produtores rurais do semiárido são os mais vulneráveis às mudanças climáticas por diversificarem pouco sua produção agrícola (PIEDRA-BONILHA *et al.*, 2019) e por esta ser baseada em culturas de subsistência, que são as mais afetadas como o milho, arroz, feijão, algodão, girassol e mandioca (MARENGO, 2014). De fato, algumas culturas são bastante afetadas pelo volume de água disponível no solo, em diferentes momentos do ciclo da cultura, junto com as características físicas e químicas do solo, podem causar queda na produtividade (TAVARES *et al.*, 2020b). Esses produtores também são vulneráveis por terem menos recursos e menor capacidade de adaptação diante de um evento extremo climático (LINDOSO *et al.*, 2013; WRIGHT *et al.*, 2014; MATOS CARLOS *et al.*, 2019). Em atenção a essa constatação, o fortalecimento da agricultura familiar na Caatinga é essencial para aumentar a capacidade de resiliência do produtor rural e sua segurança alimentar visto que, por depender diretamente dos recursos naturais, torna-se vulnerável e suscetível às alterações climáticas (LINDOSO *et al.*, 2013).

Portanto, para minimizar os iminentes impactos é recomendado caracterizar a vulnerabilidade da Caatinga às mudanças no uso da terra, aos riscos às alterações no clima e com relação ao conflito pelo uso dos recursos naturais (Quadro 1); assim como também para identificação das adaptações necessárias e viáveis localmente, estratégicas para subsidiar políticas públicas.

Quadro 1- Os principais impactos na Caatinga que a torna vulnerável às mudanças climáticas e que precisam de estratégias de adaptação.

- agricultura dependente da chuva, do período chuvoso e, nos anos de estiagem prolongada, perde-se até 90% das safras;
- “pecuarização” mais acentuada;<sup>[1]</sup>
- ameaça à segurança alimentar, aumentando as desigualdades regionais e a pobreza;<sup>[1]</sup>
- a menor disponibilidade de água: impacto na subsistência regional e na saúde da população;
- agricultores de subsistência: os mais vulneráveis por terem menos recursos e menor capacidade de se adaptar, devido à baixa renda;
- agravamento da migração devido à seca, aumentando os problemas sociais já presentes nas cidades de destino;
- perda de 2,9% do PIB regional, gerando vulnerabilidade econômica e desemprego.

Fonte: MAGRIN *et al.*, 2014.

## CAPÍTULO 3: PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NA CAATINGA

### 3.1. Produção agropecuária na Caatinga: uma transição sustentável

A ocupação e uso da terra para atividades agropecuárias do semiárido brasileiro começou no início do século XVII, com desmatamentos e queimadas intensas da vegetação nativa, práticas da agricultura de subsistência itinerante que se tornaram, desde então, predominantes na região e têm modificado tanto o estrato herbáceo quanto o arbustivo-arbóreo (SAMPAIO *et al.*, 2022). Ademais, naquela época, o governo brasileiro valorizava as áreas sem vegetação, porque acreditava-se que as plantas da Caatinga não traziam benefícios e que terreno “limpo” era o ideal para o cultivo. Para sustentar essa afirmação, criaram-se diversos argumentos para derrubar árvores, com intuito também de explorar a madeira na região, tais como: que atraem raios, que retiram água das plantas, entre outros (TAVARES *et al.*, 2020b). E assim, ao longo de mais de 300 anos, enormes áreas foram desmatadas e queimadas em um processo extrativista e predatório, reduzindo a vegetação nativa da Caatinga e acelerando processos de desertificação, agravados pelas alterações climáticas (SILVA, 2022).

Nesse contexto, outras atividades relacionadas à agropecuária ainda são realizadas de forma desregrada na região, como: o uso excessivo de fertilizantes químicos, herbicidas e agrotóxicos, que propiciam a redução da diversidade agrícola e de linhagens de rebanhos, gerando uma perda genética das espécies mais adaptadas à região; bem como pastoreio extensivo de ovinos, caprinos e bovinos, sem manejo e com superpastejo, que reduz a qualidade do solo e modifica a composição florística do estrato herbáceo (ARAÚJO FILHO, 2013, 2014; AZEVEDO *et al.*, 2015; ALVES *et al.*, 2018; BARBOSA *et al.*, 2018; MILHORANCE *et al.*, 2022). Sendo que, de acordo com SILVA *et al.*, 2023, embora a vegetação nativa da Caatinga continue predominante em cenários futuros, áreas de produção agropecuária tendem a se expandir e é importante que isso seja feito, portanto, de modo sustentável.

Atualmente, a Caatinga é a região com maior presença de agricultura familiar no Brasil, Leis 11.326/2006 e 14.828/2024 (BRASIL, 2006; BRASIL, 2024b), com cerca de 1.700 famílias, sendo a maior parte em minifúndios (2 e 3 ha) e são responsáveis por cerca de 60% da produção de alimentos, em um baixo percentual de terras e, portanto, com uma agricultura muito intensa (IBGE, 2019a). Com uma área

pequena para produzir e sob clima semiárido, com chuvas escassas e altas temperaturas que afetam a disponibilidade de água e a qualidade do solo, as famílias, muitas vezes, acabam exercendo elevada pressão sobre os recursos naturais renováveis, devido ao seu uso intensivo na agricultura e pecuária extensiva, resultando em superexploração e degradação dos agroecossistemas ao longo do tempo (PÉREZ-MARIN *et al.*, 2017).

Com o uso insustentável da Caatinga, o ritmo de exploração tem sido maior que o de recuperação da vegetação, usada para pastejo animal. Assim como a capacidade de suporte do solo, tanto das áreas de agricultura quanto de pecuária, está abaixo do sustentável; o que torna o bioma muito vulnerável e causa danos irreversíveis à biodiversidade, trazendo consequências graves para a manutenção de processos ecológicos (CUNHA & SILVA, 2022). Essas alterações, somadas às características edáficas, climáticas e hídricas da região, apontam para a necessidade de mudanças no uso do solo e relação com a Caatinga e de um manejo adequado nas atividades agropecuárias para serem produtivas e resilientes às mudanças no clima e, dessa forma, capazes de reduzir as emissões de GEE (NEGRA *et al.*, 2014; RANGEL *et al.*, 2020). Para isso, é importante o fortalecimento da agropecuária local e de sua cadeia produtiva, a fim de se recuperar a fertilidade do solo, o acesso à água, às sementes e a outros recursos, com a implementação de práticas, técnicas e tecnologias adequadas que promovam uma agricultura com bases conservacionistas, com agroecossistemas biodiversos e integrados aos sistemas naturais da Caatinga.

A transição da produção agropecuária predatória para práticas resilientes e sustentáveis na Caatinga teve grande avanço graças à agroecologia e às tecnologias sociais de convivência com o semiárido (TS-CSA), que asseguraram a produção na região com melhoria nos recursos naturais (ASSAD *et al.*, 2016; PÉREZ-MARIN *et al.*, 2017). A convivência com o semiárido é um paradigma que passa a promover práticas, saberes, tecnologias sociais e articulação política, de modo a propor e demandar políticas públicas adequadas às realidades socioambientais da Caatinga que garantam segurança hídrica, alimentar, ações e ATER que promovam a qualidade de vida e desenvolvimento sustentável (ASSAD *et al.*, 2016; SILVA, 2022). Tanto suas técnicas e práticas quanto as da agroecologia asseguraram a produção da agricultura familiar e melhoraram a oferta dos recursos naturais, visando aumentar a resiliência e a convivência com o semiárido, e a disponibilidade de alimentos para a pecuária e para a segurança alimentar das famílias (PÉREZ-MARIN *et al.*, 2017). Mas tanto as TS-CSA quanto a agroecologia, apesar de serem boas práticas agrícolas e serem cruciais

para o desenvolvimento sustentável da agropecuária local, não são suficientes para garantir a resiliência climática a longo prazo, por apresentarem limitações, que requerem soluções com fundamentos técnico-científicos mais aprofundados, como oferecidos pelas TecABC (TAVARES *et al.*, 2020c). Nesse contexto de promoção agroecológica, surge a Agricultura de Baixo Carbono (ABC), alavancada pelo Plano ABC (BRASIL, 2012a).

A integração das TecABC com as TS-CSA promove o uso sustentável dos recursos naturais, a infraestrutura para acesso e armazenamento de água, a proteção social, com capacitação e articulação entre os atores, assim como o incentivo a uma diversidade na produção animal e agrícola, como estratégia para desenvolvimento das comunidades rurais (PÉREZ-MARIN *et al.*, 2017; LINDOSO *et al.*, 2018; MILHORANCE *et al.*, 2022).

### **3.2. Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) para minimizar a vulnerabilidade das populações rurais da Caatinga às mudanças climáticas**

Inicialmente, foi feito um levantamento sobre as tecnologias e práticas rurais em regiões semiáridas para convivência com os fatores climáticos intrínsecos a esses locais e minimizar a vulnerabilidade das populações rurais. Diversas estratégias foram identificadas, agrupadas e classificadas de acordo com sua função e aplicação e estavam relacionadas aos temas: água, solo, energia, alimento, produção agrícola, pecuária, sistemas integrados, entre outros, visando à melhoria na qualidade de vida do produtor familiar e ao aumento na produção (Quadro 2).

Foram identificadas também as dificuldades de implementação e as limitações do uso dessas estratégias que foram relacionadas à governança, políticas públicas, relações sociais e financeiras a fim de traçar um caminho para superar as dificuldades em busca de soluções.

Quadro 2- Elenco das estratégias levantadas para produção agropecuária em ambiente semiárido.

- |  |
|--|
| <p>1) Referentes à água:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>(i) Sistema de captura de água da chuva;</li><li>(ii) Dessalinização;</li><li>(iii) Técnicas de Irrigação eficientes com pouco uso de água;</li></ul> |
|--|

- (iv) Irrigação com água salobra;
- (v) Hidroponia;
- (vi) Reuso de água (água residual doméstica) para irrigação e
- (vii) Microaspersão (irrigação na zona radicular).

2) Referentes ao manejo do solo:

- (i) Manter o solo coberto com matéria orgânica ou “*mulching*”;
- (ii) Manejo para conservação do solo;
- (iii) Mínimo distúrbio no solo;
- (iv) Restauração de solos degradados;
- (v) Evitar a drenagem de matéria orgânica do solo;
- (vi) Mudar o modo de aplicação de fertilizantes e pesticidas;
- (vii) Uso de Fertilizantes orgânicos e
- (viii) Aumentar uso de esterco como adubo e fazer seu manejo.

3) Referentes à produção agrícola:

- (i) Diversificação das culturas agrícolas;
- (ii) Rotação de culturas (uso de leguminosas);
- (iii) Consórcio entre as culturas;
- (iv) Alteração na densidade da cultura;
- (v) Cultivo de espécies selvagens (variabilidade genética e resistência);
- (vi) Uso de culturas tolerantes à seca;
- (vii) Uso de culturas de ciclo curto (para escapar da seca);
- (viii) Uso de sementes tolerantes à seca/ banco de sementes;
- (ix) Melhorar o cultivo de arroz;
- (x) Técnica de Zaï pit e
- (xi) Alteração no calendário de plantio/colheita.

4) Relacionadas à pecuária:

- (i) Vacinação (mudar o tipo e época de aplicação);
- (ii) Diversificar raças e rebanhos;
- (iii) Diversificar a alimentação;
- (iv) Criar corredores para o pastoreio (com sombra);
- (v) Melhorar ventilação nos estábulos/criadouros;
- (vi) Melhoria na qualidade do pasto e forragens (plurianual, pasto cercado) e
- (v) Seleção de linhagens resistentes.

5) Referentes à produção integrada:

- (i) Agricultura Conservacionista (CA);
- (ii) Agricultura orgânica;

- (iii) ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta);
  - (iv) Agroflorestas;
  - (v) Favorecer a presença de Polinizadores;
  - (vi) Recuperação de áreas degradadas com reflorestamento e
  - (vii) Diminuir o desmatamento e evitar a degradação da vegetação nativa.
- 6) Outros itens identificados, relacionados à implementação das estratégias mencionadas:
- (i) Adoção espontânea pelo agricultor de tecnologias agrícolas adaptativas (na ausência de políticas públicas);
  - (ii) Reduzir perdas de alimentos pós-colheita (manuseio e armazenamento);
  - (iii) Acesso à informação;
  - (iv) Capacitação;
  - (v) Fortalecimento de associações;
  - (vi) Fortalecimento na integração entre associações locais;
  - (vii) Acesso à crédito para viabilizar adoção das técnicas e
  - (viii) Melhoria nas estradas entre os cultivos.

Fonte: Elaboração própria.

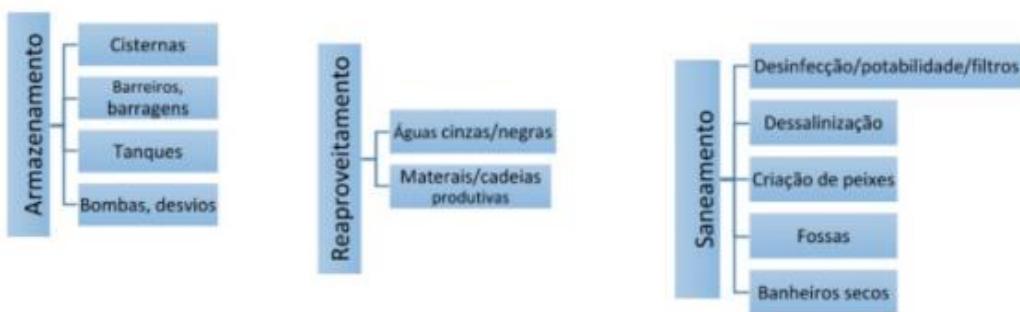
As estratégias mencionadas no Quadro 2 foram estabelecidas entre Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) e Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono (TecABC), a serem tratadas adiante, no capítulo 6. A recomendação das tecnologias adequadas a cada propriedade depende do perfil produtivo e de outras condições socioeconômicas e culturais locais, como políticas públicas, arranjos produtivos e financiamentos existentes.

As TS-CSA são soluções técnicas, procedimentos, processos e metodologias desenvolvidas coletivamente a fim de solucionar um problema social de maneira inclusiva com base no conhecimento local, garantindo qualidade de vida e ganhos ambientais (GUALDANI & BURGOS, 2020). Elas são implementadas por diferentes entidades como: organizações da sociedade civil, universidades, órgãos do governo e instituições de pesquisa cujo principal propósito é responder às demandas sociais emergenciais, como no caso dos fatores mencionados anteriormente (SILVA, 2022).

Todas as TS-CSA têm em comum o fato de serem de baixo custo e feitas, sempre que possível, com materiais disponíveis de fácil aquisição e mão-de-obra local, de forma que seu conhecimento permaneça entre a comunidade e que a TS-CSA possa ser reaplicada e difundida, sempre considerando os ajustes necessários, adaptados à realidade física, cultura e ambiental do local onde será instalada (GUALDANI &

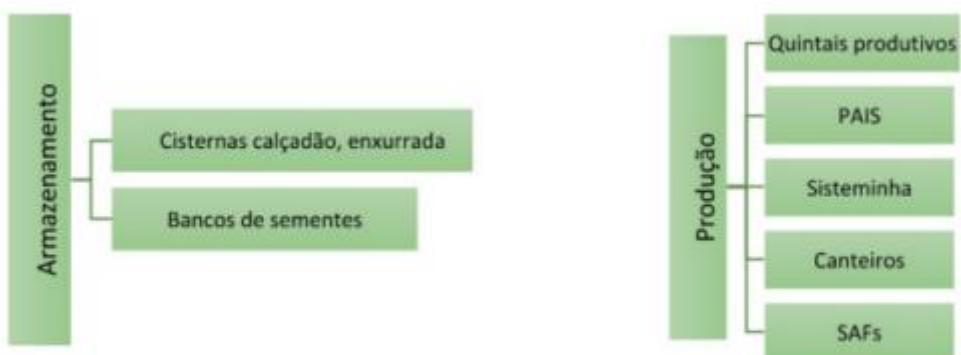
BURGOS, 2020). Políticas públicas e auxílios financeiros externos podem ser de grande ajuda, principalmente em comunidades com dificuldades econômicas, para instalação das TS-CSA.

Em meio ao crescimento populacional, desenvolvimento econômico, globalização e mudanças climáticas surgiu na comunidade internacional o conceito Nexus água-energia-alimento para lidar com essas questões atuais e globais (ENDO *et al.*, 2015). Todas as TS-CSA identificadas na Caatinga estão vinculadas, pelo menos, a uma das três categorias do Nexus, sendo que 18% foram associadas simultaneamente às três. A água foi a categoria que agrupou mais TS-CSA (80%), seguida de alimento (68%) e de energia (41%), elencadas na Figura 6, na Figura 7 e na Figura 8 (GUALDANI & BURGOS, 2020).



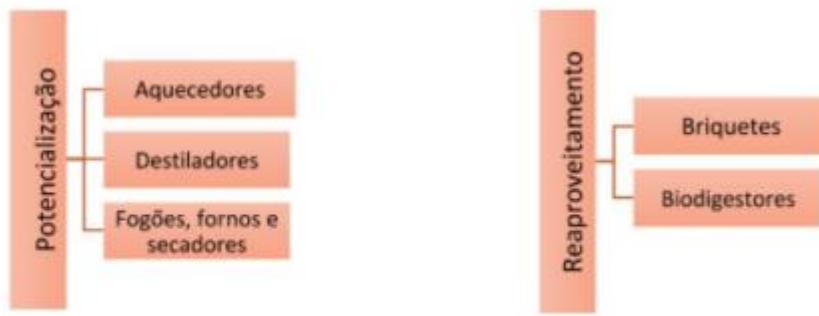
Fonte: GUALDANI & BURGOS (2020).

Figura 6- Subcategorias de TS-CSA relacionadas à água.



Fonte: GUALDANI & BURGOS (2020).

Figura 7- Subcategorias de TS-CSA relacionadas à produção de alimentos.



Fonte: GUALDANI & BURGOS (2020).

Figura 8- Subcategorias de TS-CSA relacionadas à energia.

Dentre as TS-CSA para armazenamento de água encontram-se diversos tipos de cisternas, as bombas que podem ser acopladas a elas ou a poços, bem como barreiros, barragens base-zero, tanques ferro-cimento, e as TS-CSA para reaproveitamento e saneamento, como fossas para uso de águas cinzas na irrigação de culturas e o sistema de mangueiras com gotejamento pontual, entre outros (CIANCIO *et al.*, 2024). Quanto à produção de alimento, as principais TS-CSA são de armazenamento, como banco de sementes e de sistemas produtivos, com práticas agroecológicas. Já na categoria de TS-CSA para energia há o biodigestor, importante destino para os dejetos dos animais, estimulando a criação do rebanho de forma semiextensiva para possibilitar a coleta do material, além de diminuir a pressão pelo uso da lenha para cocção (MAZORRA *et al.*, 2019; GUALDANI & BURGOS, 2020). Essas TS-CSA serão melhor detalhadas adiante, bem como o uso das principais encontradas na Caatinga.

Os sistemas produtivos integrados são incluídos nas TS-CSA e nas práticas agroecológicas por se encaixarem nas suas descrições. Assim, algumas das TS-CSA referentes a sistemas de produção de alimento, podem ser associadas a algumas TecABC, desde que os componentes do sistema estejam integrados e haja alguma forma de exploração econômica, que pode ser para produção de bens (forragem, madeira, lenha, frutos, etc.), ou de serviços (quebra-ventos, cercas-vivas, conforto térmico, paisagismo, proteção do solo, etc.), ressaltando que a densidade das árvores deve atingir um número que tenha impacto significativo no sistema (ARAÚJO FILHO, 2013).

Tanto as TS-CSA para produção de alimentos quanto as TecABC, são essenciais na Caatinga, para se evitar perdas na produção e diminuir a vulnerabilidade da agricultura às mudanças climáticas (CUNHA *et al.*, 2015). Já que ambas melhoram a produção agrícola; proporcionando um incremento na renda, melhoria na nutrição e na qualidade de vida da população, combatendo a fome e a pobreza na região. As principais TS-CSA identificadas na área de atuação do PRS Caatinga e que estão relacionadas às TecABC, de forma a potencializá-las, estão listadas no Quadro 3, sendo a maioria relacionada à produção de alimentos.

Quadro 3- Principais TS-CSA relacionadas às TecABC na Caatinga.

<b>Item</b>	<b>TS-CSA</b>	<b>Categoria Nexus</b>
1	Barragens subterrâneas	Água
2	Cisternas de placas e calçadão (cisternas para captação de água de chuva)	Água
3	Gestão hídrica	Água
4	Banco de Sementes nativas	Alimento
5	Consórcios agroecológicos	Alimento
6	Integração pasto-floresta	Alimento
7	Produção Agroecológica Integrada e Sustentável (PAIS)	Alimento
8	Produção e plantio de mudas nativas em áreas de reflorestamento	Alimento
9	Quintais produtivos/florestais	Alimento
10	Restauração ambiental com plantas nativas e frutíferas	Alimento
11	Sistemas agroflorestais (SAFs)	Alimento
12	Uso de técnicas de conservação e manejo do solo para a reutilização de áreas degradadas	Alimento
13	Utilização e manejo de espécies nativas (vegetais e animais)	Alimento
14	Biodigestores	Energia
15	Coletor solar térmico	Energia

16	Ecofogões	Energia
17	Sistemas de energia solar	Energia
18	Tratamento de resíduos	Energia

Fonte: GUALDANI & BURGOS, 2020.

Existem também TS-CSA difundidas na Caatinga direcionadas, geralmente, para uso coletivo, principalmente as relacionadas à água (Quadro 4). Isso porque a maioria dos pequenos produtores na região tem titularidade de terra coletiva, ou seja, mais de um produtor é responsável pela terra e pela sua respectiva gestão. Neste sentido, a adoção de TS-CSA coletivas otimiza esforços e espaço; além de serem financeiramente mais acessíveis.

Quadro 4- TS-CSA empregadas principalmente para uso coletivo na Caatinga.

Item	TS-CSA	Categoría Nexus
1	Açudes	Água
2	Aguadas	Água
3	Barragens subterrâneas (Barramento Base Zero)	Água
4	Bomba D'água popular	Água
5	Cisternas de placas (cisternas para captação de água de chuva)	Água
6	Poços artesianos	Água
7	Sistemas de irrigação	Água
8	Tanques de pedra	Água
9	Banco de Sementes	Alimento
10	Beneficiamento de vegetais (licuri, umbu, maracujá da caatinga, sisal, caruá, caju, pau de colher, ...) e de animais (caprinos, ovinos, galinhas, ...)	Alimento
11	Cordões de macambira	Alimento
12	Cordões de pedra	Alimento
13	Escolas Famílias Agrícolas (EFAs)	Alimento

14	Integração produtiva	Alimento
15	Produção Agroecológica Integrada e Sustentável (PAIS)	Alimento
16	Produção de mudas nativas em hortos municipais	Alimento
17	Sistemas agroflorestais (SAFs) e de Permacultura para recuperação do solo	Alimento
18	Biodigestores	Energia
19	Ecofogões	Energia
20	Sistemas a partir do uso de placas solares	Energia

Fonte: GUARDANI & BURGOS, 2020.

### **3.2.1. Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) relacionadas à água**

A água é essencial para a agricultura e para a sobrevivência. Num ambiente semiárido, há longos períodos de escassez hídrica, como mencionado anteriormente. Desta forma, para viabilizar a permanência da população rural no campo com qualidade de vida e segurança alimentar, são necessárias estratégias que minimizem o estresse hídrico e seus efeitos adversos, agravados num cenário de alterações climáticas.

Durante a curta e intensa estação chuvosa do semiárido é necessária a captação e armazenamento da água precipitada. Os principais reservatórios naturais são os rios, o solo e lençóis subterrâneos ou açudes (LINDOSO *et al.*, 2013). O solo é o principal reservatório natural de água mas, na Caatinga, por ser raso, compactado e pouco permeável sofre evaporação acentuada e escoamento superficial, não sendo capaz de armazenar água suficiente para o período de seca e, tampouco os açudes são capazes pois, logo a seguir dos meses de chuva, a temperatura continua a subir e a evaporação acentua-se (LINDOSO *et al.*, 2013; MARENGO & BERNASCONI, 2015).

Ainda assim, a água armazenada pelo solo é importante para abastecer os rios, em sua maioria intermitentes, devido à intensa evaporação e assoreamento, resultado do desmatamento de matas ciliares; que sofrem também com poluição, decorrente do uso de agrotóxicos; com eutrofização, relacionada ao aporte de efluentes domésticos e presença de animais de criação na beira dos açudes e ração para peixes; fatores que reduzem ainda mais a quantidade e a qualidade de água na região (ARAÚJO, 2012; TAVARES *et al.*, 2020a). Essas ameaças evidenciam a importância de práticas de

conservação do solo e seu uso sustentável para a preservação dos escassos recursos hídricos disponíveis (MARENKO *et al.*, 2017). Como o uso de TS-CSA, já mencionadas no item anterior, e que serão comentadas adiante.

Para minimizar, portanto, esses impactos, e que poderão ser agravados com as mudanças climáticas, são necessárias adaptações para aumentar a disponibilidade hídrica para a produção agropecuária como: aproveitamento da água da chuva, racionamento no uso da água, reciclagem ou reuso de águas residuais de uso doméstico, que podem ser aproveitadas para irrigação (KALHAPURE *et al.*, 2019) e melhoria na rede de distribuição e drenagem (AECID, 2018). Para solucionar essas questões, a implementação de TS-CSA para captação, armazenamento e tratamento de água é fortemente recomendada na Caatinga (MILHORANCE *et al.*, 2022).

Dentre as TS-CSA para este fim estão os açudes, reservatórios artificiais para armazenar água pluvial, construídos a partir de barragens de cursos d'água já existentes, para fazer com que os rios, em sua maioria, intermitente, se tornem perenes; há também obras de transposição de bacias e uso de águas superficiais e subterrâneas (ARAÚJO, 2012; MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2017). Os maiores reservatórios da Caatinga, como o do Xingó, com 3,8 bilhões de m<sup>3</sup>, por exemplo, são mais voltados para a geração de energia elétrica, entretanto o principal uso, em geral, é para irrigação e usos múltiplos (ARAÚJO, 2012; MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012). Quanto aos pequenos açudes, têm elevada evapotranspiração, o que resulta num baixo rendimento hídrico em períodos de secas prolongadas, sendo recomendado, neste caso, diversificar a fonte de captação hídrica.

A exploração da água subterrânea por perfuração e poços é uma boa alternativa mas tem limitações devido ao alto custo energético para sua extração (ARAÚJO, 2012) e pela baixa quantidade de água subterrânea disponível, devido à formação geológica cristalino da região, cuja vazão é reduzida sendo 2 m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012). A água do poço é utilizada para uso doméstico como dessedentação humana e animal, cozinhar, lavar roupa e higiene pessoal (AZEVEDO *et al.*, 2017), como também pode ser utilizada para irrigação (Figura 9).



Foto: Giselle Parno

Figura 9– Horta comunitária em Dormentes/PE, com irrigação de água do poço.

Outra alternativa para acessar a água subterrânea são os poços mais largos, denominados cacimbas, que são cavadas próximo a rios, para captação d'água de aquíferos aluviais, fornecendo água de melhor qualidade, devido à circulação e renovação, por bombeamento (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2017). Essa água é também utilizada para beber e cozinhar, podendo ser filtrada em tecido para remover impurezas (AZEVEDO *et al.*, 2017).

O uso de cisternas também é uma eficiente TS-CSA para armazenamento da água da chuva, por captação nos telhados e direcionada a elas por meio de canos; o principal uso é para beber e cozinhar (AZEVEDO *et al.*, 2017; AECID, 2018). A água pluvial também pode ser captada por pisos impermeabilizados, calçadões, e neste caso é utilizada para irrigação e dessedentação dos animais (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012; AECID, 2018). A população rural da Caatinga foi bem assistida com este tipo de reservatórios graças ao programa do governo, “Um milhão de Cisternas – P1MC” que, juntamente com a Agência Nacional das Águas (ANA) e organizações não governamentais, distribuiu 1 milhão de cisternas de placa em todo o semiárido (MONTENEGRO & MONTENEGRO,, 2012; PAULA ASSIS, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2017).

A dessalinização é um método relativamente mais recente e eficiente para um maior aproveitamento hídrico no semiárido, devido à salinidade das águas superficiais e subterrâneas, que as tornam salobras (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012; KALHAPURE *et al.*, 2019). O governo, junto com outras instituições, tem disponibilizado dessalinizadores de osmose reversa à população rural por meio do programa “Água doce” para serem acoplados aos poços (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012). O problema desta técnica é a grande quantidade de rejeitos salinos mas, que pode ser contornado com seu uso na produção de plantas halófitas e na criação de tilápias (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012).

A produção agrícola é diretamente relacionada às condições ambientais, como temperatura e água (NELSON *et al.*, 2014) e na Caatinga, 95% da agricultura é de sequeiro, dependente da chuva, e de base familiar com propriedades de até 100 ha (LINDOSO *et al.*, 2013; MATOS CARLOS *et al.*, 2019). Devido às características climáticas, físicas e ambientais da região e à elevada evapotranspiração, este tipo de agricultura é diretamente prejudicado pelo aumento do déficit hídrico (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012).

Portanto, para aumentar a oferta de água na Caatinga é necessário um uso mais eficiente deste recurso, com a gestão centrada em três pontos, segundo ARAÚJO (2012): redução das perdas no transporte (que chegam a 35%), melhorar os sistemas de irrigação - maior responsável pelo gasto de água (cerca de 70%, demanda mundial) - e o reuso das águas, instrumento mais eficiente por dobrar a disponibilidade da água de imediato. De fato, na Caatinga, o consumo de água para irrigação fica entre 6 a 20 mil m<sup>3</sup> por hectare a cada safra, de acordo com as condições climáticas e edáficas (ARAÚJO, 2012). O uso de métodos mais eficientes de irrigação pode economizar até um terço da água (ARAÚJO, 2012), como a irrigação diretamente na raiz, por microaspersão (ADGER *et al.*, 2003) ou o uso de água salobra para algumas culturas (SANTOS *et al.*, 2010b).

Entretanto, ARAÚJO (2012) relatou uma baixa aceitação dos produtores em mudar a técnica de irrigação utilizada, mesmo havendo um menor gasto hídrico. De fato, existe uma resistência a mudar para algo novo devido às tradições no cultivo, baixo custo da água, nos locais onde ela está presente, ou mesmo o fato do agricultor não querer correr o risco de alterar um modelo que está funcionando (AECID, 2018).

Mas a irrigação torna-se necessária na Caatinga para a superar a vulnerabilidade da produção agropecuária, com melhoria na infraestrutura e no sistema de irrigação,

que deveria ser incrementado, diversificado ou alterado de acordo com a cultura, a localidade e o tipo de solo para aumentar sua eficiência (CUNHA *et al.*, 2015; DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; WU *et al.*, 2017; KALHAPURE *et al.*, 2019). No entanto, na agricultura familiar do semiárido quando há irrigação o método predominante é por sulco, com alto consumo de água (LINDOSO *et al.*, 2013).

Frente a dificuldades em se implementar sistemas de irrigação, ou em situações de racionamento, é aconselhável concentrar a irrigação durante o período reprodutivo da planta, pois é quando o estresse hídrico a afeta com maior intensidade, interferindo em seu rendimento (NEMESKÉRI *et al.*, 2019b). A alteração no calendário de plantio das culturas parece ser uma alternativa eficiente e viável para superar a vulnerabilidade da produção agrícola de regiões semiáridas às mudanças climáticas, segundo alguns autores (DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; WU *et al.*, 2017; KALHAPURE *et al.*, 2019).

Outra opção de irrigação para o pequeno produtor familiar seria por bombeamento a motor, ou pedal, e a abertura de pequenos canais de desvios de rios e pequenos reservatórios (COOPER & PRICE, 2019). A irrigação é, portanto, uma forma importante de aumentar a produtividade de uma lavoura sem precisar expandir a produção para novas áreas, diminuindo assim a degradação ambiental (SARTORI & FATTIBENE, 2019).

A hidroponia seria uma outra solução, utilizada para produção de hortaliças no semiárido, devido ao baixo volume de água necessário para uma produção de hortaliças e à possibilidade de se usar água salobra (SANTOS *et al.*, 2010b) para a irrigação de culturas como repolho (CARVALHO *et al.*, 2011), tomate (ELOI *et al.*, 2011) e melão (GURGEL *et al.*, 2010).

### **3.2.2. Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) relacionadas à produção de alimentos**

A expansão das fronteiras agrícolas com desmatamento no semiárido é um problema para a conservação da caatinga e de sua biodiversidade, podendo agravar o risco de desertificação (MARENKO *et al.*, 2017). Para reverter esta situação, garantir a conservação ambiental e a produtividade agrícola, é necessário adotar estratégias que façam com que a agricultura e o meio ambiente convivam de modo sustentável.

Neste contexto, as TS-CSA relacionadas a alimento referem-se ao armazenamento de insumos naturais como banco de sementes e a modos de produção, conforme apresentado na Figura 7: quintais produtivos, produção agroecológica integrada e sustentável (PAIS), sisteminhas, canteiros e sistemas agroflorestais (SAF).

Uma estratégia de adaptação sábia e eficaz é o resgate de experiências antigas bem-sucedidas, como práticas agrícolas tradicionais e o manejo de plantas selvagens, com a criação de banco de sementes ancestrais. Segundo DWIVEDI *et al.* (2019), essas culturas ficaram isoladas e esquecidas, sem uma produção em larga escala devido à sua grande diversidade e, portanto, dificuldade de padronização de acordo com a indústria alimentícia. Com o crescimento da conscientização de uma produção agrícola sustentável, mais saudável e nutritiva, esses cultivares antigos voltaram a ser valorizados e resgatados antes que se extinguissem (DWIVEDI *et al.*, 2019). Com isso, houve a produção de híbridos, de grande variabilidade genética e tolerantes ao estresse hídrico e à salinidade, aumentando assim, a produtividade e promovendo uma maior resiliência dos agroecossistemas às mudanças climáticas (AYANTUNDE *et al.*, 2015; DWIVEDI *et al.*, 2019).

No entanto, esses cultivares antigos podem ser sensíveis a patógenos e pragas, por não terem passado pelo processo de triagem e seleção artificial que seus híbridos e variedades modernas passaram ao longo de décadas (DWIVEDI *et al.*, 2019). Mas uma produção orgânica com cruzamento controlado gera cultivares resistentes tanto a esses patógenos, pragas quanto às adversidades climáticas como seca e poluição.

Para uma adaptação eficiente, o ideal seria existirem políticas públicas para garantir amplo acesso do produtor familiar à essa variedade de sementes, para preservarem suas características nas produções seguintes e proporcionando segurança alimentar (THORTON & HERRERO, 2015; DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; COOPER & PRICE, 2019; DWIVEDI *et al.*, 2019). Nos Estados Unidos, na região de Appalachia, Arizona, espécies ancestrais são utilizadas na produção do milho azul (CLEVELAND *et al.*, 2014); no México também são produzidos milhos ancestrais, por serem resistentes à baixa concentração de fósforo no solo (SANGABRIEL-CONDE *et al.*, 2014) e na Espanha e na Itália são produzidos tomates antigos, resistentes à seca e alta salinidade do solo (MASSARETTO *et al.*, 2018; TRANCHIDA-LOMBARDO *et al.*, 2018).

### **3.2.3. Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido (TS-CSA) relacionadas à energia**

Quanto às TS-CSA relacionadas à energia, foram divididas em duas subcategorias, de acordo com GUALDANI & BURGOS (2020), que também podem estar associadas à produção agropecuária, são elas: de Potencialização (aquecedores, sistemas fotovoltaicos, destiladores, fogões, fornos e secadores) e de Reaproveitamento (briquetes e biodigestores), conforme Figura 8.

O biodigestor ganha destaque por ser um importante destino para os dejetos animais, estimulando a criação semiextensiva dos rebanhos para possibilitar a coleta do material (TAVARES *et al.*, 2020b), além de diminuir a pressão pelo uso da lenha para cocção (MAZORRA *et al.*, 2019; GUALDANI & BURGOS, 2020).

Os fogões agroecológicos também têm grande relevância por fortalecer a economia, aumentando o valor agregado do artigo no mercado, com o beneficiamento de produtos genuínos da Caatinga, como transformar frutas em geleia, compotas e doces; e placas solares, que serviram para bombeamento da água das cisternas para irrigação.

## **CAPÍTULO 4 - Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) e a necessidade de Capacitação**

### **4.1. Dificuldades de implementação de novas tecnologias**

Em alguns países, as políticas públicas nacionais para auxiliar pequenos agricultores a se adaptarem às mudanças climáticas não se mostraram tão eficazes para uma escala local como em Bangladesh, Moçambique, Uganda e Índia, devido às especificidades de cada comunidade (WRIGHT *et al.*, 2014). Existem, de fato, algumas barreiras para integrar as tecnologias de baixo carbono nas comunidades devido às políticas públicas ineficientes, à governança fraca, instituições hostis, dificuldades de acesso à crédito, opiniões divergentes entre os *stakeholders*, barreiras geográficas e socioeconômicas e desafios logísticos (WRIGHT *et al.*, 2014; HUI *et al.*, 2023; CHI *et al.*, 2024).

Uma das maiores dificuldades na recuperação de áreas degradadas é estancar a prática que a degrada, mudando o uso do solo. Cada comunidade agrícola pode ter dificuldades para aceitar e querer adotar uma nova técnica, por desconfiança, resistência a mudanças ou por falta de informação, o que acaba sendo uma barreira cultural (AECID, 2018; PHUONG *et al.*, 2018; HUI *et al.*, 2023). Desta forma, é essencial um trabalho de campo, com entrevistas nas comunidades para disseminação das técnicas, apresentando as oportunidades que elas trazem, com exemplos e resultados de suas implementações em outras regiões, para que os produtores percebam os benefícios que a tecnologia promove, como o aumento de produtividade (WRIGHT *et al.*, 2014; NEWTON *et al.*, 2016; AECID, 2018; MULIMBI *et al.*, 2019).

Outras dificuldades, em geral, com relação à implementação de estratégias adaptativas são a falta de mão-de-obra qualificada, falta de capacitação para aprender novas técnicas e dificuldade de acesso a crédito, entre outros (PHUONG *et al.*, 2018; SARTORI & FATTIBENE, 2019). Há também um receio em se adotar uma nova tecnologia pelo pequeno produtor, por ter uma aversão ao risco e à perda; o que poderia ser amenizado com políticas públicas e seguro agrícola (HUI *et al.*, 2023).

Portanto, uma forma eficiente e objetiva para adoção de novas tecnologias pelo agricultor, na ausência de políticas públicas, é o acesso à informação de forma espontânea, entre eles ou pelo fortalecimento da assistência técnica e extensão rural (ATER) por meio de capacitação e de acompanhamento continuado.

## **4.2. Transmissão de conhecimento e capacitação para adoção de novas tecnologias**

Frente a essas barreiras e dificuldades, e na ausência de políticas públicas adequadas para adaptação às mudanças climáticas (“*top down*”), o produtor que adquiriu conhecimento pode implementar as tecnologias de baixo carbono que julgar acessível de forma autônoma e espontânea (“*bottom up*”) (WRIGHT *et al.*, 2014; DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; NEWTON *et al.*, 2016). Desta forma, o produtor e sua comunidade são capazes de identificar suas necessidades e prioridades e quais técnicas são capazes de implementar para enfrentar as adversidades, sendo essa uma forma eficaz de empoderar as populações vulneráveis (WRIGHT *et al.*, 2014). Entre as estratégias de adaptação, estão: ajuste do calendário do plantio, uso de variedades de culturas e rebanhos tolerantes à seca, integração entre culturas agrícolas com rotação e consórcio, uso de irrigação e diversificação de renda (PHUONG *et al.*, 2018; MATOS CARLOS, 2019).

Mas para isso, é necessário que o pequeno produtor tenha acesso à informação e ao conhecimento, desde informações meteorológicas, sobre as mudanças climáticas seus impactos e as tecnologias para mitigação e adaptação (WRIGHT *et al.*, 2014; DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; NEWTON *et al.*, 2016; AECID, 2018; PHUONG *et al.*, 2018; COOPER & PRICE, 2019). Esse conhecimento pode ser adquirido via mídia impressa e eletrônica, rádio e comunicação pessoal sendo que as duas últimas são mais eficazes no caso de parte da população ser analfabeta (WRIGHT *et al.*, 2014).

Para melhor transmissão de conhecimento, conscientização e divulgação das tecnologias é eficiente promover capacitação dos produtores locais e da comunidade envolvida, com a apresentação de estudos de caso e resultados (NEWTON *et al.*, 2016; COOPER & PRICE, 2019). E, de fato, a comunicação direta entre colegas, amigos, vizinhos, cooperativas e associações aumenta e consolida ainda mais a aprendizagem social e consequentemente melhora a capacidade adaptativa e a resiliência local (PHUONG *et al.*, 2018).

A adaptação é, portanto, um processo de aprendizado social, participativo e inclusivo, sendo essencial o fortalecimento de associações e instituições locais, das relações entre si bem como dos serviços de ATER de forma a proporcionar uma maior integração para divulgar as informações e conhecimentos (NEWTON *et al.*, 2016;

PHUONG *et al.*, 2018; STADEL, 2019; ALBAGLI & LEITÃO, 2020).

Desta forma, há o crescimento e fortalecimento da comunidade, onde cooperação e solidariedade prosperam, criando um ambiente favorável para que ocorra a adaptação da população local aumentando sua resiliência frente aos riscos ambientais, econômicos e sociais, com melhoria na qualidade de vida e aumento da segurança alimentar e fonte de renda (STADEL, 2019).

Neste contexto, promover o envolvimento dos jovens rurais na produção agrícola é uma maneira de estimulá-los a se manterem na terra e de contribuírem na implementação das novas tecnologias, visto que os jovens estão mais envolvidos com acesso à informação e à tecnologia (BRASIL, 2018). De fato, uma associação de jovens agricultores na Índia ajudou a disseminar novas tecnologias entre os produtores rurais, com grande repercussão nacional e internacional (WRIGHT *et al.*, 2014). Outros jovens acabam seguindo nos estudos e escolhem profissões relacionadas à produção agrícola e voltam às suas comunidades com mais conhecimento para ser aplicado na prática (BRASIL, 2018).

Isso mostra que a adoção de novas tecnologias, como as TecABC, além de ser um meio de adaptação aos eminentes efeitos às mudanças climáticas é uma oportunidade de melhoria e de crescimento com sustentabilidade da produção agrícola (NEWTON *et al.*, 2016). Ao migrar para uma agricultura sustentável e resiliente, restauram-se condições ambientais adequadas, que melhoraram também os aspectos sociais e econômicos, para que a produção e sobrevivência, num ambiente crítico, se torne viável e amena.

Mas para a transição para uma agricultura sustentável, são necessários auxílios financeiros como acesso a crédito e seguro agrícola para que seja possível viabilizar ao pequeno produtor a adoção das TecABC (DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; NEWTON *et al.*, 2016; MULIMBI *et al.*, 2019). De fato, MATOS CARLOS (2019) observou que grandes proprietários na Bahia, na região da bacia do Rio das Contas, têm maior condições de adotar novas tecnologias, devido à maior área agrícola para testar e mais recursos para investir.

Diante deste diagnóstico, a perspectiva é organizar e adaptar as TecABC de acordo com o perfil e necessidade de comunidades vulneráveis à seca presentes na Caatinga.

### **4.3. Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) na Caatinga**

Para conter a expansão de áreas agrícolas e garantir tanto a conservação da biodiversidade na Caatinga quanto a produtividade agrícola, é necessária a disseminação de técnicas agrícolas sustentáveis, como as TecABC entre os produtores familiares. Pois para que um agricultor mude seu modo de produção precisa estar informado sobre as causas e seus impactos na produção para assim querer adotá-lo em sua propriedade (MATOS CARLOS *et al.*, 2019). E, para que essa aceitação ocorra, é fundamental a atuação do técnico de ATER junto aos produtores, para que estes sejam capacitados a adotar práticas sustentáveis, e mitigar emissões de GEE (TAVARES *et al.*, 2020b). Ainda, segundo MATOS CARLOS *et al.* (2019), fatores socioeconômicos, como: escolaridade, experiência, renda, título da terra, tamanho da propriedade, acesso a crédito e conhecimento também influenciam na adoção de novas técnicas. Inclusive, agricultores informados sobre a influência das mudanças climáticas, preocupam-se em decidir qual cultura plantar, em qual tipo de solo e qual a demanda e disponibilidade hídrica (DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016). Agricultores indianos perceberam que as maiores influências das alterações climáticas foram a redução nas áreas cultiváveis e a necessidade de aumentar o uso de fertilizantes, pesticidas e inseticidas devido ao aumento no número de pragas (DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016).

Neste cenário, a ATER tem um papel crucial para o sucesso da divulgação e viabilização de novas tecnologias, além de ter impacto positivo na produção agropecuária e na resiliência e convivência com a seca (CÓRDOBA *et al.*, 2020; MILHORANCE *et al.*, 2022). Na Caatinga, a ATER é baixa, entre 2,1% e 11,7%, conforme identificado por TAVARES *et al.*, (2020a). Além disso, há uma lacuna nos serviços de ATER para suprir a carência por atividades básicas de gestão, acesso a crédito e financiamento, que constituem ainda uma das principais fragilidades dos agricultores familiares (ALBAGLI & LEITÃO, 2020; SANTOS *et al.*, 2023, RAMOS-SANDOVAL & MENDIBURU-DÍAZ, 2024). Sendo que a Bahia é o estado onde a assistência técnica tem maior atuação na Caatinga, com o Bahiater (BAHIA, 2024).

De acordo com a Lei n. 12.188/2010 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER) para a Agricultura Familiar e assentados da Reforma Agrária, as ações de ATER se constituem em: “serviço de educação não-formal e continuado, no meio rural, que promove processos de gestão, produção, beneficiamento e comercialização das atividades dos serviços

agropecuários e não agropecuários, inclusive das atividades agroextrativistas, agroflorestais e artesanais”.

O acesso à ATER pelo produtor familiar foi uma das demandas conquistadas com a consolidação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), criado em 1996, e sua atuação é crucial para o sucesso na implementação de novas tecnologias, bem como para sua consolidação, pois atua desde a sensibilização, na capacitação dos produtores, até a parte prática e monitoramento de sua implantação, além de proporcionar geração de renda para as famílias (SANTOS *et al.*, 2023) (Quadro 5).

Quadro 5- Aspectos importantes evidenciados nos ATER que atuam na Caatinga.

1. **Redução de recursos e disparidades setoriais na oferta de ATER** fazem com que muitos produtores rurais não recebam qualquer serviço de ATER, principalmente os mais pobres, os da agricultura familiar;
2. **Fragilidade institucional da ATER pública**, devido à redução de recursos e dificuldades fiscais, envelhecimento do quadro de profissionais, infraestrutura deficitária, contratações temporárias;
3. **Instabilidade financeira das ONGs**, a partir da perda de financiamentos, promoveu a redução no quadro de funcionários e assim, perdem parte do investimento feito na formação de expertise em ATER adequada às características e recursos de seus públicos-alvos;
4. **Capacitação do Sistema S e de empresas privadas de ATER orientadas para produtores mais capitalizados** faz com que se perca o foco na agricultura familiar. Além disso, a capacitação é baseada em aulas expositivas, com menos modalidades práticas;
5. **Foco da ATER para obtenção de financiamento e crédito**, pois mesmo os programas orientados para populações mais desassistidas priorizam agricultores mais organizados, que estão mais preparados para alcançar metas definidas, buscando atender os requisitos estabelecidos e para elaborar propostas com as especificações e condições demandadas;
6. **Dificuldades das instituições quanto aos parâmetros de avaliação e remuneração do trabalho dos profissionais de ATER** reduzem essa avaliação à quantificação das atividades, numa abordagem produtivista, priorizando o número de atendimentos, em detrimento de critérios mais qualitativos.

Fonte: TAVARES *et al.*, 2020c.

## CAPÍTULO 5: METODOLOGIA

### 5.1 Área de Estudo

#### 5.1.1. Caracterização do Semiárido Brasileiro

O semiárido é caracterizado por apresentar precipitação anual baixa (entre 280 mm e 800 mm anuais), com distribuição irregular no tempo e no espaço, apresentando longos períodos de seca durante o ano e uma estação chuvosa curta e concentrada, com 70% da precipitação anual entre janeiro e maio, período chamado de “inverno”, que também causa desastres com chuvas intensas que causam enchentes e dificilmente é possível armazenar essa água durante todo o período de seca, devido à alta taxa de evaporação (MARENGO *et al.*, 2011; 2017; MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012).

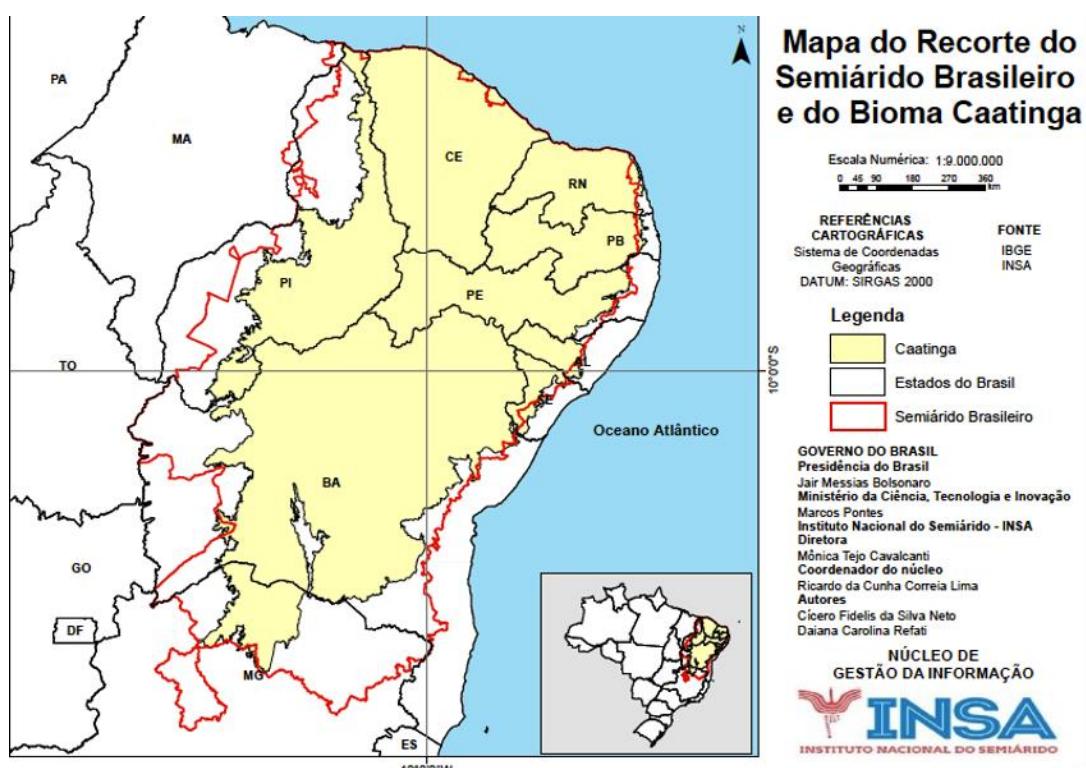
A região possui índice de aridez de Thornthwaite entre 0,20 e 0,50 (tendo como base o balanço entre precipitação e evaporação entre 1960-1990), com déficit hídrico e períodos de seca (SUDENE, 2017; ALVALÁ *et al.*, 2019). Outras características gerais do semiárido são: solos rasos e pobres, com exceção dos solos aluviais, rios intermitentes, escassos recursos hídricos subterrâneos e temperatura média anual acima de 20º C (MARENGO, 2011).

A alta evaporação ocorre devido ao solo ser raso e pouco permeável somado à alta incidência solar que eleva a temperatura e faz com que a taxa de evaporação aumente e atinja um potencial médio pode variar de 2.100 a 2.600 mm/ano com evaporação real média entre 450 a 700 mm/ano, aumentando o índice de aridez (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012). Desta forma há um aumento do déficit hídrico que influencia na qualidade da água, pois com a intensificação da evaporação a concentração de sais na água aumenta, ocasionando eutrofização e salinização (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2012).

#### 5.1.2. Caracterização do Bioma Caatinga

A região de clima semiárido brasileira é caracterizada por: i) precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; ii) índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50; iii) percentual diário de déficit hídrico igual ou

superior a 60% (SUDENE, 2017; ALVALÁ *et al.*, 2019). O mapa da Figura 10. indica a localização do bioma e da área de clima semiárido no Brasil, que ocupa cerca de 12% do território nacional e 86% da região Nordeste, abrange seus nove Estados e ainda uma porção do norte do Estado de Minas Gerais, possui uma área total de 1.128.697 km<sup>2</sup>, distribuída em 1.262 municípios, sendo 91 destes no estado de Minas Gerais (SUDENE, 2017). Com uma população de quase 28 milhões de habitantes, sendo 44% residindo em área rural (SUDENE, 2017), é considerada a região semiárida mais habitada do mundo (MARENKO, 2008).



Fonte: IBGE/INSA, 2000.

Figura 10– Delimitação do semiárido brasileiro e da Caatinga.

A Caatinga está totalmente inserida no semiárido, é o único bioma exclusivamente brasileiro e é também um dos mais ameaçados (TABARELLI *et al.*, 2018). Abriga diversas espécies de animais e plantas endêmicas (6% dos mamíferos e 52,9% dos peixes), sendo considerada a floresta seca com maior biodiversidade no mundo, caracterizada por uma vegetação xerófita (adaptada à escassez de água), com cactáceas (xiquexique, mandacaru), juazeiro, aroeira, barraúna, maniçoba entre outras. A vegetação é caracterizada por florestas secas com arbustos de troncos e galhos

esbranquiçados e folhas decíduas ou em forma de espinho, que são adaptações para resistir à seca e economizar água mas, com a elevada temperatura, a taxa de evapotranspiração continua a ser alta mesmo com essas adaptações foliares (SILVA *et al.*, 2017; TABARELLI *et al.*, 2017; 2018), Figura 11.



Foto: Giselle Parno, 2020.

Figura 11- Cenário da Caatinga na estação seca.

No entanto, parte da sua vegetação nativa e de seus recursos vem sendo deteriorada devido ao seu uso intensivo do solo na agricultura e na pecuária extensiva (MARENKO *et al.*, 2017; TABAREL

LI *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2020; MENEZES & SILVAS, 2024). Isso ocorre devido ao desmatamento para expansão de áreas de pastagens como pelo corte da mata para obtenção de lenha para as atividades da população rural, principalmente para cocção (Figura 12) (MAZORRA *et al.*, 2019) e para fornecer matéria-prima para a indústria, cuja matriz energética ainda é lenha e carvão (TABARELLI *et al.*, 2018), restando apenas 40% da cobertura original do bioma (INPE, 2015).



Foto: Giselle Parno/ CNPq (Prêmio Arte e Ciência CNPq).

Figura 12– Fogão à lenha no sertão de Pernambuco.

A Caatinga ocupa uma área de 862.818 mil km<sup>2</sup> (11% do território nacional), onde vivem cerca de 20 milhões de habitantes (11 % da população brasileira), sendo 33% destes no meio rural, em pequenas propriedades, menores que 100 ha e majoritariamente conduzidas por mão-de-obra familiar: são 1.446.842 agricultores familiares em 79% dos estabelecimentos agropecuários do semiárido (BURNEY, 2014; SILVA *et al.*, 2017; TABARELLI *et al.*, 2017; IBGE, 2019a). A pecuária está presente em 56,53% destes estabelecimentos e os principais rebanhos de ruminantes são: bovinos (12,74 %), caprinos (11,12 %) e ovinos (9,41 %) (IBGE, 2019a). A produção agrícola é majoritariamente de sequeiro e, em geral, voltada para a produção de forragem para os rebanhos, em modelos agrossilvipastoris, tanto para pastagem direta quanto em forma de banco de forragens para a produção de feno ou silagem; e os principais cultivos são: gramíneas, milho forrageiro, palma-forrageira, leguminosas lenhosas nativas, gliricídia e leucena (ARAÚJO FILHO, 2013; IBGE, 2019a; RANGEL *et al.*, 2019).

### **5.1.3. Definição das Áreas de Estudo: Experiência PRS Caatinga**

A ideia inicial, era fazer uma avaliação detalhada da cobertura e uso do solo e da produção agropecuária da Caatinga, identificando as práticas locais, o grau de vulnerabilidade socioeconômico e a exposição às mudanças climáticas para, desta forma, identificar sub-regiões do bioma prioritárias onde as TecABC poderiam ser implementadas.

Para isso, seria necessário caracterizar o quadro socioeconômico, ambiental e agropecuário dessas regiões, bem como identificar as instituições e políticas públicas presentes. Desta forma, fazer um paralelo da produção agrícola da agricultura familiar e identificar aptidões para novas atividades, para então serem selecionadas as TecABC mais adequadas, com os ajustes necessários, para a realidade local. Desta forma, seria possível promover uma agricultura resiliente às mudanças climáticas e uma redução da vulnerabilidade de comunidades rurais da Caatinga.

Essa etapa de seleção de sub-regiões da Caatinga assemelhou-se com os critérios de escolha das microrregiões adotadas pelo Projeto Agricultura de Baixo Carbono e Desmatamento Evitado — Fase II — Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga<sup>2</sup>). Sendo assim, o PRS Caatinga serviu como um estudo de caso de sucesso no levantamento e implantação das TecABC na Caatinga.

O PRS Caatinga foi pioneiro no bioma ao trabalhar ações de mitigação de GEE, ao mesmo tempo em que pretendia diminuir a pobreza, aumentando a produtividade agrícola de pequenos produtores da agricultura familiar em cinco estados do Nordeste: Alagoas, Bahia, Pernambuco, Piauí e Sergipe. O Projeto possuía as seguintes metas: 200 ha para recuperação de áreas degradadas, 600 ha em manejo sustentável com utilização de sistemas integrados e 200 ha em manter áreas conservadas dentro de propriedades privadas e, além disso, pretendia expandir a adoção das TS-CSA em 17 unidades, capacitar 125 profissionais de ATER, ter melhoria de renda em 15% e ter um

---

<sup>2</sup> O Projeto PRS Caatinga (DEFRA/BID/MAPA/FBDS) integrou uma cooperação técnica entre os governos do Reino Unido (DEFRA) e do Brasil (MAPA), teve o Banco Interamericano para o Desenvolvimento (BID) como agência implementadora e a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) como unidade gestora. O objetivo do PRS Caatinga foi contribuir para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e aumentar a renda de pequenos e médios agricultores, promovendo a adoção de tecnologias agrícolas de baixo carbono (ABC) e a restauração do ecossistema no bioma Caatinga, estimulando a conservação da biodiversidade.

mínimo de 20 mil toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> evitada por meio da mobilização de 1500 produtores rurais. Para atingir esses objetivos o PRS Caatinga utilizou um pacote de ações, que geralmente são apresentadas separadamente como diferentes políticas públicas, mostrando a possibilidade de se estabelecer uma agricultura regenerativa focada em práticas sustentáveis de forma sistêmica e estruturada, por meio das TecABC e promover a socioeconomia na região (CIANCIO *et al.* 2024).

#### **5.1.3.1. Municípios prioritários**

Dentre os cinco estados mencionados, foram selecionadas cinco microrregiões, a partir de mapeamentos de diversos indicadores, como: disponibilidade hídrica, eventos de seca, áreas de preservação, atividades produtivas, entre outros. As microrregiões estudadas foram: Alto Médio Canindé (PI), Araripina (PE), Batalha (AL) Euclides da Cunha (BA) e Sergipana do Sertão do São Francisco (SE), Figura 13. Todas têm municípios com menos de 50.000 habitantes sendo, em média, metade da população rural de agricultura familiar e com baixo IDH.

Os municípios de atuação do Projeto foram escolhidos de acordo com a seleção e classificação feita pelo Plano Agronordeste<sup>3</sup> (MAPA, 2019) e baseava-se em três princípios: 1) deveriam ter altos níveis de pobreza; 2) deveriam estar altamente expostos às mudanças climáticas e 3) deveriam ter alto nível de cobertura vegetal ou um nível muito baixo de cobertura vegetal. Esse terceiro princípio está relacionado ao fato de que a agricultura familiar demandaria diferentes ações de conservação e de restauração do bioma em áreas de alta e de baixa cobertura vegetal (áreas degradadas), chamadas de “pobreza verde” (conservação e restauração) e de “pobreza vermelha” (aptidão agrícola), respectivamente.

Desta forma, dentre os 37 municípios prioritários, 18 foram classificados como “pobreza verde” e 19 como “pobreza vermelha”, distribuídos nas cinco microrregiões Figura 13, a seguir:

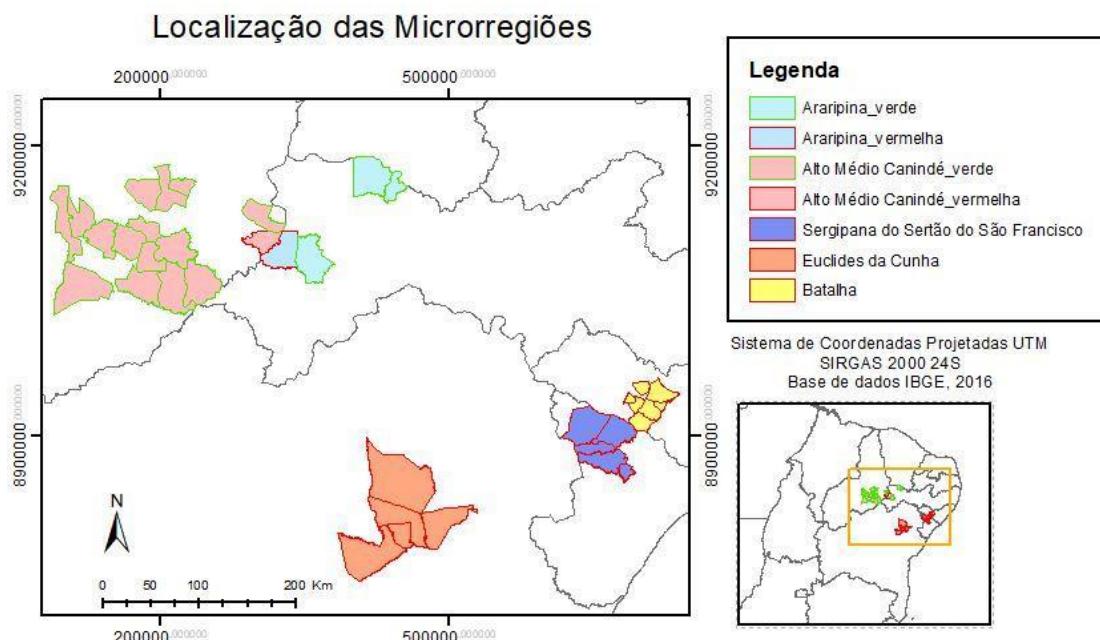
- **Araripina (PE):** Exu, Moreilândia, Santa Cruz e Santa Filomena.
- **Alto Médio Canindé (PI):** Bela Vista do Piauí, Betânia do Piauí, Campinas do Piauí, Campo Alegre do Fidalgo, Capitão Gervásio Oliveira, Curral Novo do Piauí, Isaías Coelho, João Costa, Lagoa do Barro do Piauí, Nova Santa Rita,

---

<sup>3</sup> Plano Agronordeste - programa do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), lançado em 2019, para impulsionar o desenvolvimento econômico, social e sustentável do meio rural da região.

Pedro Laurentino, Queimada Nova, Ribeira do Piauí, São Francisco de Assis do Piauí, Socorro do Piauí e Vera Mendes.

- **Batalha (AL):** Batalha, Belo Monte, Jacaré dos Homens, Jaramataia, Major Isidoro, Monteirópolis e Olivença.
- **Euclides da Cunha (BA):** Cansanção, Monte Santo, Nordestina, Queimadas e Quijingue.
- **Sergipana do Sertão do São Francisco (SE):** Feira Nova, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Poço Redondo e Porto da Folha.



Fonte: TAVARES *et al.* (2020a).

Figura 13- Localização das cinco microrregiões com delimitação de seus municípios e classificação quanto à cobertura vegetal (pobreza verde e pobreza vermelha).

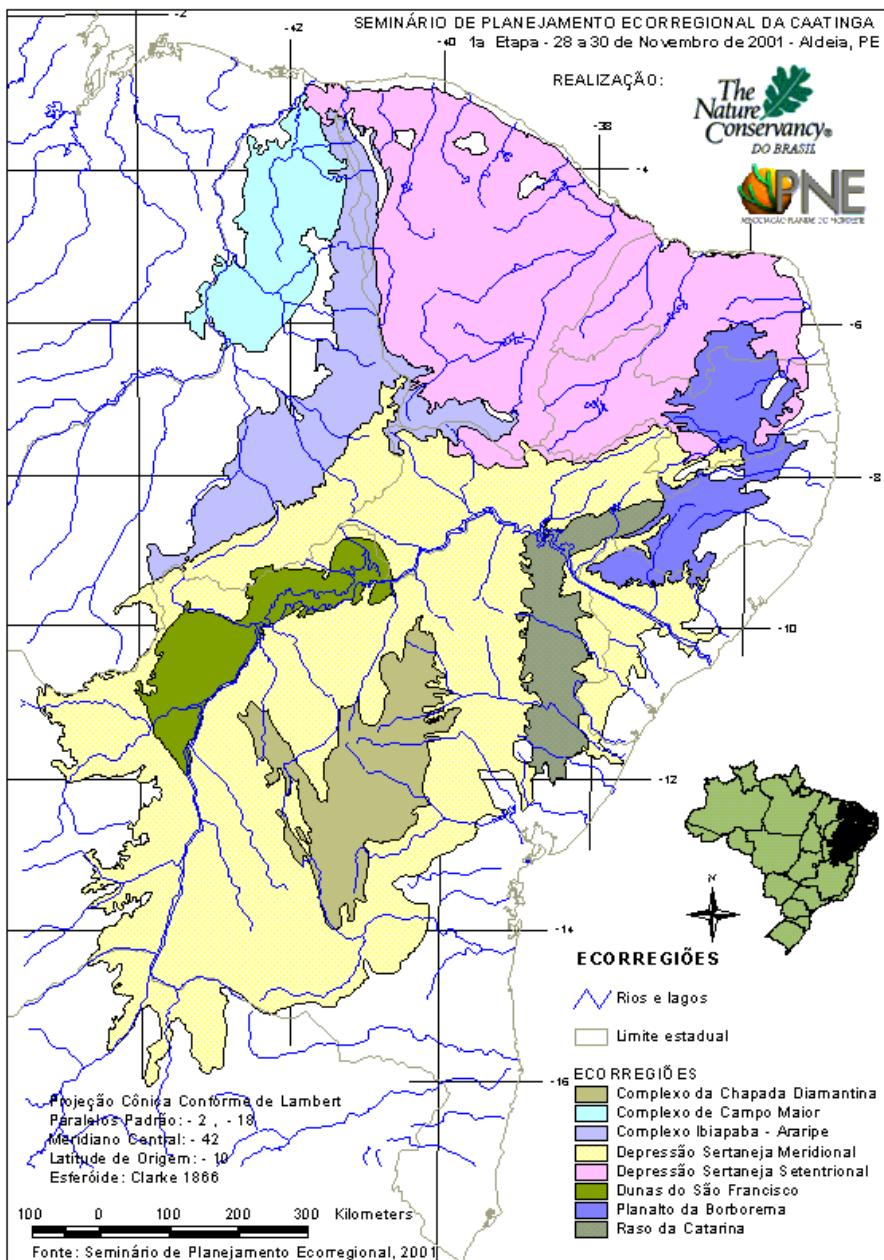
Dentre os municípios prioritários, somente 31 tiveram participação nos projetos, cuja seleção foi feita pelas entidades parceiras do PRS Caatinga, responsáveis pelos APLs, e foram contemplados, portanto, com ações diretas do Projeto, por meio de propostas de entidades parceiras (BARRETO, 2024; CIANCIO *et al.*, 2024).

### **5.1.3.2. Aspectos Naturais**

Devido ao relevo, tipos de solos, pluviosidade, clima e vegetação, abordados anteriormente (item 5.1.2.), a Caatinga possui uma paisagem bastante heterogênea com regiões distintas, desde o Agreste (faixa entre Mata Atlântica e o Sertão) até o próprio Sertão (TABARELLI *et al.*, 2018) e, desta forma, é dividida em oito ecorregiões (VELLOSO *et al.*, 2002), conforme ilustrado na Figura 14: i) Complexo de Campo Maior; ii) Complexo Ibiapaba - Araripe; iii) Depressão Sertaneja Setentrional; iv) Planalto da Borborema; v) Depressão Sertaneja Meridional; vi) Dunas do São Francisco; vii) Complexo da Chapada Diamantina, parte mais alta da Caatinga e viii) Raso da Catarina. Elas são áreas geográficas de planejamento para conservação, divididas de acordo com os aspectos naturais, e são grandes o suficiente para preservar as dinâmicas entre as diversas espécies, assegurando a evolução dos processos ecológicos.

As microrregiões de Araripina (PE) e Alto Médio Canindé (PI) estão inseridas na ecorregião do Complexo Ibiapaba - Araripe. Nas chapadas o solo é pouco fértil, arenoso e bem drenado, gerando uma escassez de água nas superfícies, mas no alto das chapadas existem nascentes; enquanto nas *cuestas*, voltadas para o Estado do Piauí, os solos são um pouco mais férteis por serem mais diversificados.

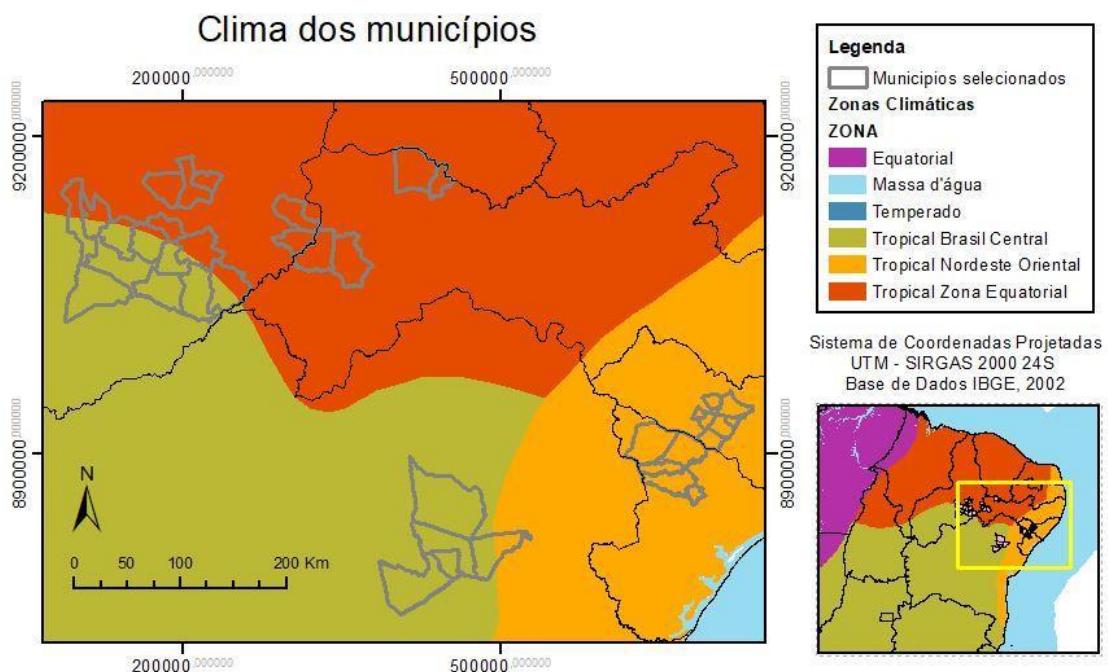
Já as microrregiões de Euclides da Cunha (BA), Batalha (AL) e Sergipana do Sertão do São Francisco (SE) estão na ecorregião Depressão Sertaneja Meridional, com extensas planícies baixas; sendo que na microrregião da Bahia o solo é raso, mal drenado, com fertilidade média e problema de salinidade. Nesta ecorregião, existe uma melhor distribuição e regularidade nas chuvas, com menor incidência de seca, se comparada à Depressão Sertaneja Setentrional, o que favorece a incidência de rios e lagoas temporárias. Quanto à hidrografia, os municípios estão inseridos em 3 Bacias Hidrográficas: Rio São Francisco, Parnaíba e Atlântico Leste (TAVARES *et al.*, 2020a).



Fonte: VELLOSO *et al.* (2002).

Figura 14— As Ecorregiões do bioma Caatinga.

Os climas predominantes nas microrregiões são: Tropical Nordeste Oriental, Tropical Brasil Oriental e Tropical Zona Equatorial, conforme indicado no mapa da Figura 15, com os limites dos climas zonais e detalhado no Quadro 6.



Fonte: TAVARES *et al.* (2020a).

Figura 15- Zoneamento Climático da região onde se encontram os 37 municípios.

Quadro 6- Características dos três climas zonais predominantes nas microrregiões.

**Tropical Zona Equatorial** - Microrregiões de Araripina e metade superior do Alto Médio Canindé; apresenta verões chuvosos, invernos secos e com pouca chuva, temperaturas elevadas e com baixa variação. A temperatura média anual é de 25°C.

**Tropical Brasil Central** - Microrregiões de Euclides da Cunha e metade inferior do Alto Médio Canindé; há estiagem ou pouca chuva no inverno, e verões chuvosos. Durante a estação mais quente, predomina a influência da massa Equatorial Continental, advinda do norte do país. Já durante a estação fria, passa a predominar a massa Tropical Atlântica, advinda do litoral e que chega ao interior do país com pouca umidade. As médias térmicas variam entre 20°C e 28°C.

**Tropical Nordeste Oriental** - Microrregiões de Sergipana do Sertão do São Francisco, Batalha e parte Euclides da Cunha, apresenta elevadas temperaturas o ano todo, inverno chuvoso e pouca chuva no verão. A temperatura média anual é de 25°C. Apresenta influência das áreas litorâneas banhadas pelo Oceano Atlântico.

Fonte: TAVARES *et al.* (2020a).

Quanto ao solo, os 37 municípios abrangem 14 tipos, sendo os principais: o Planossolo Nátrico, o Latossolo Amarelo, o Neossolo Litólico e o Argissolo Vermelho-Amarelo, que ocupam, respectivamente 21,34%, 20,25%, 20,03% e 12,04% da área

total. A Tabela 1 mostra o principal solo em cada microrregião e o seu percentual de ocorrência. O tipo de solo influí diretamente na capacidade produtiva agropecuária da região e também na variedade de cultivo adequada para garantir uma boa produtividade.

Tabela 1- Principal solo em cada microrregião.

<b>Araripina</b>	<b>Batalha</b>	<b>Euclides da Cunha</b>	<b>Sergipana do Sertão do São Francisco</b>	<b>Alto Médio Canindé</b>
Latossolo Amarelo (38,0%)	Planossolo Nátrico (31,7%)	Planossolo Nátrico (64,5%)	Neossolo Litólico (42,7%)	Latossolo Amarelo (31,7%)

Fonte: TAVARES *et al.*, 2020a.

Com relação à vegetação nativa da Caatinga é do tipo savana estépica, com seis subdivisões no território estudado: Savana Arborizada, Savana-Estépica Florestada, Savana-Estépica Arborizada, Savana-Estépica Arbustiva, Savana-Estépica Parque e Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa (Quadro 7).

Quadro 7- Características da vegetação savana estépica da Caatinga presente nas microrregiões.

**Savana típica (arbustiva):** ocorre em áreas mais baixas e planas, com arbustos e árvores de menor porte (até sete metros de altura) com troncos e galhos retorcidos protegidos por cascas espessas. Está associada a cactáceas (xique-xique, facheiro) e bromélias (macambira, croatá);

**Savana florestada (arbórea):** florestas altas com árvores de até 20 metros de altura. É mais fechada e densa que a savana típica e na estação chuvosa forma uma mata sombreada. Em geral, encontra-se próxima a cursos d'água;

**Savana arborizada:** predomínio de plantas de caule maleável, rasteiro (vegetação herbácea); principalmente gramíneas e pequenas árvores e arbustos bastante espaçados entre si;

**Savana gramíneo-lenhosa:** constituída por herbáceas, as árvores são raras ou inexistentes.

Fonte: TAVARES *et al.* (2020a).

De acordo com o Panorama dos municípios prioritários do PRS Caatinga (TAVARES *et al.*, 2020a), o desmatamento tem sido constante nas microrregiões, com consequente perda de espécies endêmicas da Caatinga. A Savana Estépica Arborizada é a vegetação que ocupa maiores áreas nos municípios estudados e onde ainda se

encontram os maiores remanescentes, são eles: João Costa/PI, Lagoa do Barro do Piauí/PI e Monte Santo/BA.

Ainda, segundo TAVARES *et al.* (2020a), a microrregião do Alto Médio Canindé é a que ainda tem a maior área de vegetação nativa preservada, com exceção apenas dos municípios de Betânia do Piauí/PI e Curral Novo do Piauí/PI. Em todas as outras microrregiões, a maior parte da vegetação original já foi desmatada, e substituída, principalmente, por pastagem.

A agropecuária é o principal uso da terra para praticamente todos os municípios considerados, mas essa informação pode estar um pouco maquiada quanto ao real uso da terra devido ao fato da pastagem natural na Caatinga que pode ser confundida com outro tipo de vegetação, por ocorrer, em geral, em vegetação natural, com árvores e arbustos (TAVARES *et al.*, 2020a). Nas microrregiões de Batalha e Sergipana do Sertão do São Francisco, estima-se que mais de 80% da vegetação natural se encontra em estabelecimentos agropecuários. Já em Araripina/PE, apenas 42% está em área de agropecuária, em Euclides da Cunha 27% e em Alto Médio Canindé 12%.

#### **5.1.3.3. Uso do solo: Agropecuária**

Nessas microrregiões a maior parte da vegetação nativa já tinha sido desmatada e substituída por áreas de lavouras e de pastagem. O desmatamento ainda tem sido uma prática constante, às vezes acompanhado de queimadas, sendo que a região do Alto Médio Canindé (PI) possui a vegetação nativa mais preservada (IBGE, 2019a; IBGE/BDia, 2019b; TAVARES *et al.*, 2020a). Esta informação foi importante para estruturar ações que impedissem o desmatamento de novas áreas, esclarecendo maneiras de realizar o manejo sustentável de florestas nativas da Caatinga, como modelos extrativistas de frutos nativos.

A pecuária é a principal atividade de todas as microrregiões, sendo a área ocupada por pastagens, em média, sete vezes maior que a das lavouras (TAVARES *et al.*, 2020a). De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, em Araripina, há muitas pastagens plantadas em más condições e ocupam 48% do total desta microrregião. Em Batalha, a grande maioria das pastagens são naturais (92,6%); já em Euclides da Cunha, as pastagens plantadas em boas condições e as pastagens naturais ocupam juntas 70% do total, enquanto no Alto Médio Canindé, essa porcentagem é de 85,8% do total de pastagens da microrregião. Com relação à criação de ruminantes as proporções entre

ovinocaprinocultura e bovinocultura variam, há microrregiões onde os rebanhos de caprinos e ovinos são maiores: Araripina e Euclides da Cunha (76%) e Alto Médio Canindé (88%) e outras onde os de bovinos são maiores: Batalha (78%) e Sergipana do São Francisco (83 %), Tabela 2 (TAVARES et al., 2020a).

Tabela 2- Principais rebanhos de ruminantes nas microrregiões, em número de cabeças.

<b>Tipo de Rebanho (Cabeças)</b>	<b>Araripina</b>	<b>Batalha</b>	<b>Euclides da Cunha</b>	<b>Sergipana do Sertão do São Francisco</b>	<b>Alto Médio Canindé</b>
Caprinos e Ovinos	133.906	15.807	352.878	29.306	536.648
Bovinos	40.910	55.685	110.482	142.108	73.592

Fonte: Adaptada de TAVARES *et al.* (2020a).

As informações sobre cultivos temporários, cultivos permanentes, pecuária e extrativismo ajudaram no planejamento de sistemas produtivos integrados, a partir da produção já existente, e auxiliaram na seleção de plantas próprias da Caatinga, principalmente aquelas voltadas para a alimentação animal. A identificação de pastagens - divididas em naturais, plantadas em boas condições e plantadas em más condições - foi relevante como indicação para a implantação de projetos de recuperação de áreas degradadas.

Um resumo do cenário da produção agropecuária nas microrregiões de atuação do PRS Caatinga pode ser observado no Quadro 8; esse levantamento feito por TAVARES *et al.* (2020a) serviu como ponto de partida dos estudos sequentes. A partir das análises de algumas dessas informações foi possível potencializar ações do PRS Caatinga envolvendo as TecABC, TS-CSA e ATER na Caatinga.

## 5.2. Levantamento de dados para as análises

Para contextualização e um amplo diagnóstico do assunto em questão, esta pesquisa foi realizada com uma revisão bibliográfica sobre mudanças climáticas e a produção agropecuária em regiões semiáridas e, mais especificamente, na Caatinga. Como também foi feita a coleta de dados primários por meio de entrevistas semiestruturadas e questionários a instituições de grande representatividade local.

Os dados levantados ajudaram a compreender quais eram as práticas agrícolas comuns nas microrregiões e como era feita a criação de ruminantes, para diante da

demandas, poder analisar quais TecABC seriam mais pertinentes para melhorar a produção, a renda e principalmente colaborar na mitigação de GEE.

Também foi possível avaliar o processo de identificação, ajuste e recomendação das TecABC mais indicadas para a Caatinga e, principalmente, avaliar uma estratégia de sucesso na implantação dessas tecnologias neste bioma com o estudo de caso do PRS Caatinga.

### **5.2.1 Revisão bibliográfica**

A revisão bibliográfica foi feita com levantamento de artigos científicos e de livros pelo portal dos periódicos *online* da Capes, *google scholar* e de dados em sites de institucionais e governamentais, como o Censo Agropecuário 2017 e em relatórios técnicos do PRS Caatinga, tanto os relacionados aos estudos iniciais quanto aqueles com resultados do Projeto para o estudo de caso. A maior parte do levantamento foi feita de fevereiro de 2019 a novembro de 2022, com algumas referências adicionadas posteriormente, até março de 2024. Foram considerados cerca de 55 artigos, livros e capítulos de livros dentre próximo a uma centena levantada, sendo que os critérios de inclusão foram: publicações a partir do ano 2000, com maior consideração a partir de 2010.

As informações pesquisadas eram relacionadas a mudanças climáticas e emissão de GEE pela agropecuária, principalmente em ambientes semiáridos e, mais especificamente, na Caatinga. Com foco em subtemas, como: acesso aos recursos naturais, práticas agropecuárias sustentáveis em ambientes semiáridos, as estratégias de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas, políticas públicas relacionadas, vulnerabilidade do produtor rural, agricultura familiar, Nexus água-energia-alimento, as práticas de convivência com o semiárido, agricultura de baixa emissão de carbono, o modo de criação e o manejo alimentar de ruminantes no semiárido.

Quadro 8- Informações agropecuárias referentes às cinco microrregiões.

<b>Itens</b>	<b>Araripina</b>	<b>Batalha</b>	<b>Euclides da Cunha</b>	<b>Sergipana do Sertão do São Francisco</b>	<b>Alto Médio Canindé</b>
Pastagens	- 48% estão em más condições (8 vezes mais que área de lavoura)	- 92,6% são de pastagens naturais (4 vezes mais que área de lavoura)	- Maior área de pastagens dentre as microrregiões, com 31% em más condições - 70% em boas condições e/ou naturais (41 vezes maior que área de lavoura)	- Pastagens naturais representam 75% (dobro da área de lavoura)	- 85,8% de pastagens naturais e/ou plantadas em boas condições
Pecuária	- Caprinos e ovinos são os mais representativos nesta microrregião	- Predomínio de bovinos leiteiros (25,8% da produção total de leite) - Produção de codorna (43,3% do rebanho total)	- Segunda maior criação de ovinos (36,3%) entre as 5 microrregiões - Maior rebanho de bovinos não leiteiros (29,1%), criação de caprinos (29,1%) - Segundo maior rebanho de galináceos (25,6%) e produção de ovos (28,6%)	- Maior rebanho de equinos e bovinos, sendo a maior produção leiteira (60% total das 5 microrregiões) - Maior rebanho de galináceos (26,2%) e maior produção de ovos (31,8% do total) - Maior produção de patos, gansos, marrecos, perdizes e faisões (40% do total) - 18,6% do rebanho de suínos total	- Maior rebanho de ovinos (45,2%), de caprinos (56,3%), de asininos e de muares entre as 5 microrregiões - Terceira microrregião em produção de galináceos (22,9%) e de ovos (22,7%) - Maior rebanho de suínos (47,6% do total)

<b>Itens</b>	<b>Araripina</b>	<b>Batalha</b>	<b>Euclides da Cunha</b>	<b>Sergipana do Sertão do São Francisco</b>	<b>Alto Médio Canindé</b>
Lavoura Temporária	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor produção entre as microrregiões</li> <li>- 64,2% da produção de cana-de-açúcar, 91% de fava grão, 68,8% de feijão preto, 25,4% de mandioca do total produzido em todas as microrregiões</li> <li>- Na produção desta microrregião: macaxeira (34,8%), milho forrageiro (15,9%) e milho grão (13,1%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 18,7% da produção total de palma forrageira</li> <li>- 10,8% da produção total de milho forrageiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Na produção desta microrregião a palma-forrageira representa 88,7%</li> <li>- Produz 52,6% do feijão-fradinho considerando todas as microrregiões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Na produção desta microrregião a palma-forrageira representa 28,5%</li> <li>- Produz 62% da palma-forrageira e 88,8% do milho forrageiro das 5 microrregiões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produz 20,1% do milho grão, 10,1% da macaxeira e 33,2% do feijão-fradinho das 5 microrregiões</li> <li>- Na produção desta microrregião: milho grão (42,6%), feijão-fradinho (19,5%)</li> </ul>
Lavoura Permanente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No Censo Agropecuário 2017 não há valores de lavoura temporária para os municípios dessa microrregião</li> <li>- Na produção desta microrregião: banana (21,2%), goiaba (62,6%) e café (11,1% = total da produção nas 5 microrregiões)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- São apresentadas apenas número de estabelecimentos apenas das culturas: banana, caju fruto e fruta de conde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior percentual de lavoura permanente entre as 5 microrregiões (13,4% das áreas de lavouras)</li> <li>- Na produção desta microrregião: sisal fibra (69,2%) e sisal folha (29,2%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior produção de frutas entre as 5 microrregiões, com 76% da banana e 90% da goiaba</li> <li>- Na produção desta microrregião: acerola (41,3%), banana (23,9%), goiaba (26%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Banana é o principal cultivo, com 99,5% da produção da microrregião</li> <li>- 100% do caju fruto colhido nas 5 microrregiões</li> </ul>

<b>Itens</b>	<b>Araripina</b>	<b>Batalha</b>	<b>Euclides da Cunha</b>	<b>Sergipana do Sertão do São Francisco</b>	<b>Alto Médio Canindé</b>
Matas ou Florestas Naturais	- 60605 ha de vegetação natural nas propriedades - 28,6% de matas ou florestas na área total dos estabelecimentos	- 3769 ha de vegetação natural nas propriedades - 3,9% de matas ou florestas na área total dos estabelecimentos	- 65786 ha de vegetação natural nas propriedades - 14,5% de matas ou florestas na área total dos estabelecimentos	- 33631 ha de vegetação natural nas propriedades - 13,3% de matas ou florestas na área total dos estabelecimentos	- 559388 ha de vegetação natural nas propriedades - 22,8% de matas ou florestas na área total dos estabelecimentos
Assistência técnica	- Somente 4,1% dos estabelecimentos recebem	- Somente 8,6% dos estabelecimentos recebem	- Somente 10,8% dos estabelecimentos recebem	- Somente 11,7% dos estabelecimentos recebem	- Somente 2,1% dos estabelecimentos recebem
Manejo do Solo	- 84,6% dos estabelecimentos não realizam adubação - Entre os que realizam adubação, a orgânica representa 95,2% do total	- 67% dos estabelecimentos não realizam adubação - Entre os que realizam adubação, a orgânica representa 88,6% do total	- 74,4% dos estabelecimentos não realizam adubação - Entre os que realizam adubação, a orgânica representa 85,5% do total	- 48,9% dos estabelecimentos realizam adubação, entre estes a química representa 49,7% do total	- 91,3% dos estabelecimentos não realiza adubação - Entre os que realizam adubação, a orgânica representa 96,7% do total
Tipo de Cultivo	- Maior proporção de estabelecimentos usando SPD entre as 5 microrregiões - Entre os estabelecimentos: cultivo convencional (30,7%), cultivo mínimo (35,3%) e agrossilvipastoril (28,6%)	- Entre os estabelecimentos: cultivo convencional (62,3%) e cultivo mínimo (35,3%)	- Entre os estabelecimentos: cultivo convencional (51,7%) e cultivo mínimo (21,3%)	- Entre os estabelecimentos: cultivo convencional (48,1%), cultivo mínimo (37,7%) e agrossilvipastoril (13,7%)	- Entre os estabelecimentos: cultivo convencional (38,4%), cultivo mínimo (23,6%) e agrossilvipastoril (38%)

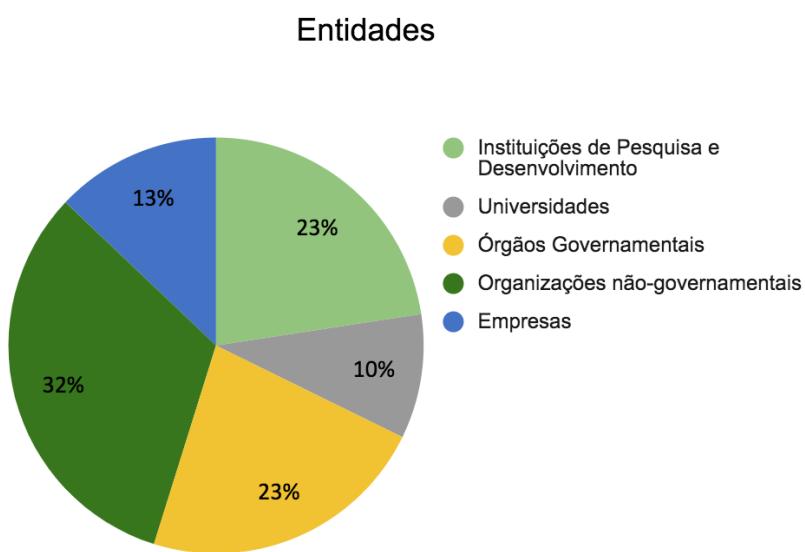
<b>Itens</b>	<b>Araripina</b>	<b>Batalha</b>	<b>Euclides da Cunha</b>	<b>Sergipana do Sertão do São Francisco</b>	<b>Alto Médio Canindé</b>
Titularidade da Terra	- 13,3% dos estabelecimentos pertencem a terceiros e são explorados mediante contrato ou acordo	- 89% dos estabelecimentos têm proprietário, único ou de terras tituladas coletivamente	- 92% dos estabelecimentos têm proprietário, único ou de terras tituladas coletivamente	- Em 8,9% dos estabelecimentos o produtor é concessionário ou assentado aguardando titulação definitiva.	- 16,9% dos estabelecimentos pertencem a terceiros e são explorados mediante contrato ou acordo
Outros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrativismo: carvão (69,3%), lenha (59,6%) e produtor integral de pequi, aromático, medicinais e corantes do total produzido nas 5 microrregiões</li> <li>- 27,2% dos estabelecimentos têm mulheres a frente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrativismo: castanha de caju (11,8%) do total produzido nas 5 microrregiões</li> <li>- 23,5% dos estabelecimentos têm mulheres a frente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior percentual de população rural</li> <li>- Agricultura representa 12% do PIB</li> <li>- Extrativismo: castanha de caju, umbu e licuri (mais de 80%), madeira em tora (11,4%), do total produzido nas 5 microrregiões</li> <li>- 23,2% dos estabelecimentos têm mulheres a frente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor IDH de todas as microrregiões</li> <li>- Extrativismo: madeira em tora (74%), lenha (33,8%) e produtor integral de cera de carnaúba em pó e de babaçu do total produzido nas 5 microrregiões</li> <li>- 18,6% dos estabelecimentos têm mulheres a frente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 23,1% dos estabelecimentos têm mulheres a frente</li> </ul>

Fonte: Adaptada de TAVARES *et al.* (2020c).

### 5.2.2. Entrevistas semiestruturadas

Para corroborar com as informações pesquisadas e organizadas, foram consultados especialistas para conhecer suas opiniões e avaliações sobre a agropecuária na Caatinga, do ponto de vista técnico, econômico, financeiro, social e cultural e também seus conhecimentos sobre a produção dos agricultores familiares e a mitigação da emissão de GEE neste setor. Desta forma, foi possível caracterizar detalhadamente cada especificidade da produção agropecuária regional e experiências relacionadas às TecABC.

Para tanto, foram realizadas entrevistas semiestruturadas e questionários, entre maio e julho de 2020, com atores locais de 31 entidades com atuação abrangente na Caatinga, incluindo as cinco microrregiões como órgãos governamentais e não-governamentais, instituições de pesquisa e desenvolvimento, como universidades públicas e unidades da Embrapa (Figura 16 e Quadro 9). Em TAVARES *et al.* (2020b) há a lista das entidades participantes. Foram priorizadas as entidades que forneciam assistência técnica e capacitação, e excluídas as associações de pequenos produtores, por atuarem com um pequeno número de famílias e já estarem em contato com cooperativas locais.



Entidades	Nº
Instituições de Pesquisa e Desenvolvimento	7

Universidades	3
Órgãos Governamentais	7
Órgãos Não-governamentais	10
Empresas	4

Fonte: de MATTOS *et al.* (2024a).

Figura 16- Perfil das entidades consultadas.

Os principais temas abordados consistiam em saber quais TecABC eram utilizadas e de que forma, tipo de criação de animais, tipos de sistemas agrossilvopastoris, recuperação de áreas degradadas, manejo da vegetação da Caatinga, práticas sustentáveis, entre outros. A coleta de dados contou com o apoio do PRS Caatinga e incluiu três fases: preparação, entrevistas e aplicação dos questionários e o tratamento e análise dos resultados, conforme também estruturado por outros autores (LINDOSO *et al.*, 2013; ENDO *et al.*, 2015; CAMPOS *et al.*, 2016; MATOS CARLOS *et al.*, 2019).

O esforço inicial foi a seleção das entidades e contactá-las para agendar entrevista ou enviar o questionário (Quadro 9). Foram contatadas 70 instituições, elencadas a partir do levantamento feito pelo Panorama do Municípios Prioritários do PRS Caatinga (TAVARES *et al.*, 2020a), por meio de pesquisa na internet e pela rede de contatos do Projeto para identificação de lideranças locais, associações e organizações governamentais e não-governamentais.

Quadro 9- Entidades levantadas com atuação na Caatinga.

- 1148 instituições foram levantadas, mas a grande maioria estava inativa ou eram cooperativas; optou-se por contactar as de maior alcance;
- 293 instituições foram selecionadas como mais abrangentes que representassem as microrregiões e pudessem repassar informações às pequenas organizações;
- 101 instituições foram localizadas nas redes sociais e consideradas ativas, passíveis de serem contatadas.
- 70 instituições foram contatadas para agendar entrevista ou enviar questionário.
- **31** instituições tiveram retorno positivo: 15 foram **entrevistadas online** e 16 responderam ao **questionário online**. (cerca de 38 % de retorno com relação ao total de tentativas, esforço).

Fonte: Elaboração própria.

Os primeiros contatos foram feitos via mensagens, por celular e redes sociais. Foram obtidos apenas 31 retornos positivos, Quadro 9. Quando a pessoa contactada não tinha disponibilidade para uma entrevista, foi aplicado um questionário sobre as TecABC, em formato *online* pelo Google Form, cujo conteúdo está em TAVARES *et al.* (2020b). Ainda, na fase de preparação, antes das entrevistas, foi elaborado um roteiro com perguntas norteadoras (Quadro 10) e também foi utilizado o questionário mencionado anteriormente (TAVARES *et al.*, 2020b). As entrevistas foram *online*, através dos softwares ZOOM e JITSI, juntamente com as outras autoras do estudo, com duração de aproximadamente 1 (uma) hora. As conversas foram gravadas e depois transcritas para serem analisadas. Os entrevistados, além de informações relevantes, trouxeram, principalmente, suas percepções e vivências com a realidade do produtor da Caatinga. O conteúdo levantado nas entrevistas foi incorporado na análise, foram os especialistas consultados para realização do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

Quadro 10- Roteiro das entrevistas semiestruturadas.

- 1 - Breve introdução sobre o projeto (5 min) + Requisição da autorização para gravação.
- 2 - Quais os locais de atuação da instituição?
- 3 - Conhece Agricultura de Baixo Carbono?
- 4 - O que considera como “curto/médio/longo” prazo para o tempo de retorno de investimento em uma nova tecnologia?
- 5 - Quais principais combinações que conhece para ILPF/SAF (culturas/animais/árvore)?
- 6 - Quais espécies utiliza na Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN)/ Adubo Verde?
- 7 - Sobre Recuperação de Áreas Degradas com Florestas (RAD-F)/ Recaatingamento, quais as principais árvores usadas para preservação e para uso comercial?
- 8 - Sobre Recuperação de Áreas Degradas com Pasto (RAD-P), usa gramíneas ou as próprias espécies da caatinga? Há divisão em piquetes para manejo?
- 9 - A pecuária é extensiva ou semiextensiva? Há práticas e/ou uso de áreas coletivas?
- 10 - Sobre o Sistema de Plantio Direto (SPD), que espécies usam para palha ou ela é usada para outros fins (ex: silagem)?
- 11 - Como se dá o manejo da Caatinga (rebaixamento/raleamento/enriquecimento) e que frutos são recolhidos (extrativismo)?
- 12 - Sobre biodigestão e/ou compostagem, quais as principais criações? Elas são intensivas, semiextensivas ou extensivas? Qual a base alimentar dos animais?
- 13 - Há alguma outra prática de convivência com o semiárido ou de agroecologia que deseja comentar? Conhece os locais onde são utilizadas?

Fonte: TAVARES *et al.* (2020b).

A realização de seminários e workshops com os atores locais é uma ferramenta presencial eficiente para validar os dados secundários como também, uma oportunidade para coleta de dados primários a fim de conhecer as demandas da população relativas ao acesso à água, à energia, às tecnologias sociais e às práticas agrícolas, como

mencionado por KIPLING *et al.* (2019). São estratégias importantes que ajudam no processo de adequação das técnicas agrícolas que poderão ser implementadas futuramente (KIPLING *et al.*, 2019). Bem como eles são uma excelente oportunidade para compartilhamento de informações e divulgação das tecnologias e para troca de conhecimento e experiência entre os produtores e com as instituições locais envolvidas (CAMPOS *et al.*, 2016). Não foi possível a realização de seminários e workshops neste estudo devido à logística, recursos e principalmente à pandemia do COVID-19. Essa atividade foi substituída pelas entrevistas e questionário semiestruturado, metodologia participativa também recomendada por diversos autores e que geralmente é aplicada nesses encontros (DHANYA & RAMACHANDRAN 2016; MATOS CARLOS *et al.*, 2019; MULIMBI *et al.*, 2019; PIEDRA-BONILHA *et al.*, 2019; TOLMASQUIM *et al.*, 2020).

Posteriormente, no decorrer do PRS Caatinga, foi constatada a necessidade de formação técnica em TecABC aos profissionais de ATER da região, e foi oferecida uma capacitação bem ampla sobre as TecABC e temas relacionados, em parceria com a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF).

### **5.2.3. Dados do PRS Caatinga**

O PRS Caatinga foi avaliado com base nos documentos, relatórios e site do Projeto, de forma participativa e em dois momentos distintos: i) Componente 1, geração e disseminação do conhecimento; que foi de forma participativa; e ii) Componente 2, fortalecimento de capacidades locais. Neste segundo momento, foi feita uma análise da implantação das TecABC na Caatinga e uma avaliação das outras ações previstas pelo Projeto, um balanço para verificar se as TecABC tinham sido implantadas como planejado no Componente 1 (de MATTOS *et al.*, 2024b).

Para isso, os estudos do Componente 1 do PRS Caatinga foram analisados para compreensão de como a integração entre as TecABC e TS-CSA e o fortalecimento de ATER poderiam contribuir com as ações de implantação das TecABC neste bioma. As metas e os objetivos do Projeto também foram considerados. Os estudos do Componente 1 analisados foram: (1) Panorama dos municípios prioritários (TAVARES *et al.*, 2020a); (2) Tecnologias de Agricultura de Baixo Carbono (TecABC) (TAVARES *et al.*, 2020b), (3) Análise Transversal de Tecnologias de Agricultura de

Baixo Carbono, Tecnologias Sociais, Assistência Técnica, Extensão Rural e Financiamento da Agricultura de Baixo Carbono na Caatinga (TAVARES *et al.*, 2020c), (4) Mapeamento de Fontes Institucionais sobre Tecnologias Sociais na Caatinga (GUALDANI & BURGOS, 2020) e (5) Estudos sobre Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) para TecABC no Semiárido (ALBAGLI & LEITÃO, 2020). Posteriormente, foram analisados dois documentos publicados após a finalização da implantação das tecnologias: (6) PRS Caatinga - Uma trajetória de inovação no semiárido brasileiro (CIANCIO *et al.*, 2024) e (7) Manual de Implantação das Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono (TecABC) na Caatinga (BARRETO, 2024).

Cada estudo do Componente 1 foi feito de forma independente, por diferentes consultores, sendo aquele sobre TecABC (2) o estudo central. Todos tiveram como base pesquisas bibliográficas e consultas às instituições da Caatinga, por meio de entrevistas semiestruturadas. Os documentos finais do PRS Caatinga (6 e 7) foram elaborados pela equipe do Projeto e outros consultores (de MATTOS *et al.*, 2024b).

## 5.3 Análise dos dados

Com os dados levantados foram feitas análises qualitativas e quantitativas. Após a ampla revisão das TecABC, foi possível identificar os principais dados secundários relevantes para as análises e dados primários que poderiam complementá-las e validá-las, conforme mencionado por CAMPOLINA *et al.* (2017). As TecABC foram detalhadas e relacionadas às atividades agropecuárias e ao arranjo produtivo local (APL) das microrregiões. Para assim, servirem de indicativo para sua implantação, com os ajustes necessários à cada realidade local, de acordo com as especificidades socioambientais e econômicas, potencializando a produção agropecuária de modo sustentável e resiliente frente às condições climáticas.

### 5.3.1. Análise de Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça (FOFA)

Para melhor compreender como as TecABC poderiam ser usadas para mitigar a emissão de GEE na produção agropecuária na Caatinga foi feita uma análise FOFA, das Forças (F) e Fraquezas (F) das TecABC (ambiente interno, características intrínsecas) e das Oportunidades (O) e Ameaças (A), aspectos do ambiente externo,

relativas a cada uma das microrregiões, fora do controle do produtor e que podem beneficiar ou prejudicar a produção agropecuária (de MATTOS *et al.*, 2024a).

A FOFA é um método qualitativo de planejamento para evidenciar pontos positivos e negativos a um ambiente, de forma a organizar estratégias para tomada de decisão a partir de informações complexas (BAUDINO *et al.*, 2017; SCHÄLER *et al.*, 2019; TOLMASQUIM *et al.*, 2020; ZIERLER *et al.*, 2023). Neste caso, o ambiente é a produção agropecuária na Caatinga, para o produtor conhecer as ofertas possíveis de atividades dentro de suas possibilidades. Tanto o ambiente externo quanto o interno são dinâmicos, sujeitos a transformações locais, regionais e globais. Desta forma, durante a construção da matriz FOFA, os pontos fortes foram reforçados e os fracos atenuados. Pois, o importante é identificar as forças e reconhecer as oportunidades onde elas se encaixam para poderem ajudar a minimizar as ameaças identificadas.

Com base nos resultados da FOFA, e considerando que a pecuária é a principal atividade econômica do produtor familiar da Caatinga (ARAÚJO FILHO, 2014; NASUTI & LINDOSO, 2015; SIGNOR *et al.*, 2022), optou-se por fazer uma avaliação mais detalhada deste setor. Para isto, inicialmente, foi feita uma nova FOFA relacionada à produção de forragem para os rebanhos de ruminantes, considerando o tipo de criação, a qualidade do alimento oferecido e sua relação com a fermentação entérica e respectiva emissão de GEE. Nesta análise, as Oportunidades (O) e Ameaças (A), foram consideradas para a Caatinga, em geral, visto que não foram encontradas diferenças muito relevantes sobre este item entre as microrregiões. Esta análise foi relevante por identificar as vantagens de cada TecABC e os pontos de menor alinhamento com a Caatinga, e esclarecer questões fundamentais sobre uma produção de alimentos de baixo carbono de forma resiliente e compatível com as condições dos agricultores familiares e que se antecipa a possíveis adversidades externas.

Vale ressaltar que, no processo de escolha das alternativas para produção de alimentos para ruminantes, as tecnologias FBN e SPD foram excluídas da análise porque, embora possam ser trabalhadas separadamente, elas são empregadas em conjunto com a ILPF e RAD, ou seja, nesta tecnologias pode ser feita a cobertura de palhada e são utilizadas espécies que promovem a fixação biológica de nitrogênio.

Quanto às TecABC analisadas - ILPF, Manejo Sustentável de Florestas (MSF) e RAD-P - estas foram avaliadas desde o nível inicial (momento de implementação) até ao seu estabelecimento (cerca de 3 ou 5 anos depois), segundo KICHEL *et al.* (2014) e GONTIJO NETO *et al.* (2018). E foi deliberado que a RAD-P seria reestruturada de

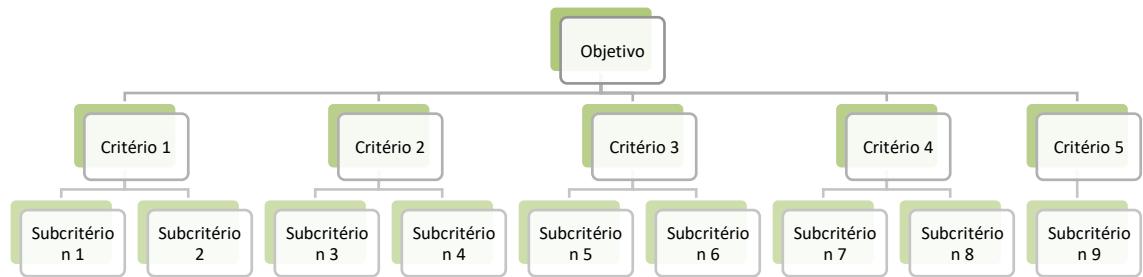
forma a tornar-se uma ILPF. A premissa para diferenciar essas duas tecnologias é que o ILPF seria implementado em uma área ativa, que já possui produção, e que seria adaptada a um sistema integrado. Por outro lado, a RAD-P seria designada para uma área improdutiva, degradada e que seria recuperada com ILPF. Assim, a principal diferença entre essas TecABC é que, mesmo que sejam semelhantes quando estabelecidas, elas possuem condições diferentes desde o início, como a estrutura e a fertilidade do solo. O MSF, foi considerado com seu plano de manejo e as três técnicas (raleamento, rebaixamento e enriquecimento) e não apenas deixando o rebanho pastando na vegetação da Caatinga fazendo apenas algumas podas.

Embora sozinho o método FOFA não apresenta resultados muito robustos, é uma importante ferramenta que antecede outra análise, quantitativa, como o Processo Analítico Hierárquico (AHP), por exemplo, que o completa (YAVUZ & BAYCAN, 2013; VOROBIEV *et al.*, 2015; CAMPOLINA *et al.*, 2017; TOLMASQUIM *et al.*, 2020). Portanto, na sequência, foi feita uma análise multicritério AHP, e uma Análise de Risco, para complementá-la. Os critérios e subcritérios para as alternativas, foram estabelecidos a partir das matrizes FOFA e usados como *input* para o desenvolvimento da AHP, especificamente os itens Força e Fraqueza, que foram classificados e agrupados. Os dados foram analisados em arquivos MS Excel.

### **5.3.2. Análise Multicritério - Processo Analítico Hierárquico (AHP)**

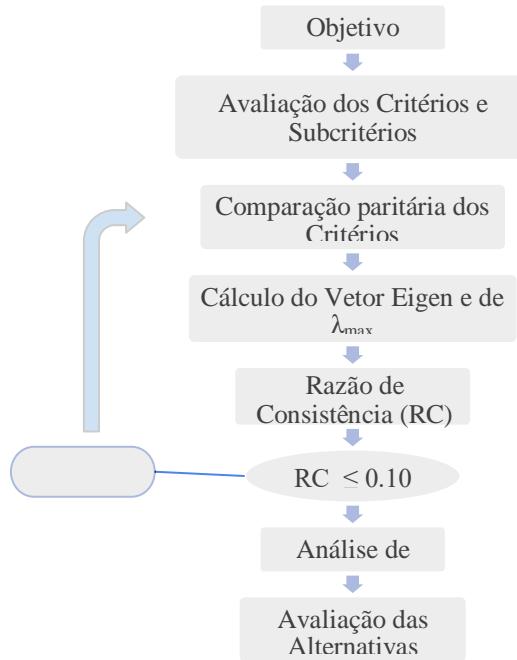
O Processo Analítico Hierárquico (AHP) é uma análise multicritério usada para facilitar a compreensão e a avaliação de um problema de decisão ao quantificar a opinião dos decisores a partir de fatores hierarquicamente estruturados em critérios, subcritérios e alternativas (SAATTY, 2005; CAMPOLINA *et al.*, 2017; MALTA *et al.*, 2017; TOLMASQUIM *et al.*, 2020). Com esta análise é possível mensurar o grau com que uma alternativa é preferida em relação às demais, por meio da comparação de escores numéricos, inicialmente para cada fator (critérios e subcritérios) e depois integrados em um escore global, para as alternativas (CAMPOLINA *et al.*, 2017; TOLMASQUIM *et al.*, 2020). Este método é uma ferramenta bastante eficaz e é dividido nas seguintes etapas: 1) definição do problema (meta a resolver); 2) identificação dos critérios, subcritérios e das alternativas; 3) decomposição hierárquica (árvore de valores); 4) julgamento de valores por comparação paritária (matriz de

julgamento); 5) normalização da matriz; 6) teste de consistência e 7) avaliação das alternativas, Figuras 17 e 18 (CAMPOLINA *et al.*, 2017; TOWSE & BARNSLEY, 2017; TOLMASQUIM *et al.*, 2020; SAHANI, 2021).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 17– Estrutura hierárquica da AHP.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 18- Fluxograma da AHP.

Este tipo de análise é uma ferramenta que permite a integração de fatores relevantes para os processos de avaliação de tecnologias (CAMPOLINA *et al.*, 2017; TOLMASQUIM *et al.*, 2020), ou seja, coloca uma ordem de prioridade entre as diversas alternativas disponíveis, neste caso, as TecABC.

Os critérios e subcritérios são os caminhos possíveis para se avaliar as alternativas e têm que cumprir os requisitos de reciprocidade na comparação entre seus pesos, de homogeneidade, independência entre os eles e expectativa de que a estrutura hierárquica esteja completa (CAMPOLINA *et al.*, 2017). Em seguida, esses fatores são estruturados em uma árvore hierárquica que mostra também as alternativas (COSTA, 2013; CAMPOLINA *et al.*, 2017). Desta forma, visualizam-se a meta e os caminhos para a resolução do problema, facilitando a determinação de prioridades entre os critérios e subcritérios por meio da comparação paritária, na razão  $n(n-1)/2$ , sendo  $n$  o número de critérios, para a construção da matriz de julgamento (matriz A) (COSTA, 2013). Essa valoração paritária da matriz A é feita com base na experiência dos decisores (autores) e especialistas, onde são atribuídos pesos relacionados ao grau de importância de um critério sobre o outro para se atingir o objetivo global (MALTA *et al.*, 2017; SHAJEDUL, 2021). Os pesos foram escolhidos de acordo com a Escala Fundamental de Saaty (SAATY, 1980), que pode variar de 1 a 9 (Quadro 11), sendo que o peso 1 representa critérios de igual importância, e 9, indica a preferência absoluta de um critério sobre outro na dimensão em que estão sendo avaliados (MARCHEZETTI *et al.*, 2011).

Quadro 11– Escala Fundamental de Saaty.

Intensidade de		
Importância	Definição	Explicação
1	<b>Igual</b> importância	As duas atividades contribuem igual para o objetivo.
3	Importância <b>Fraca</b>	Favorecimento ligeiro de uma atividade sobre a outra.
5	Importância <b>Moderada</b>	Favorecimento moderado de uma atividade sobre a outra
7	Importância <b>Forte</b>	Forte favorecimento de uma atividade sobre a outra.
9	Importância <b>Absoluta</b>	Favorecimento absoluto de uma atividade sobre a outra, de forma clara e inquestionável
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição entre duas definições

Adaptada de: SAATY, 1980.

A seguir, obtém-se os pesos relativos dos critérios, para que estes sejam comparáveis, por meio de uma sequência de cálculos que se inicia com a elaboração da

matriz normalizada (matriz A') que é feita a partir da matriz de julgamento (matriz A). Para isso, obtém-se somatórios das colunas da matriz A e divide-se o valor de cada julgamento da matriz de decisão A pelo resultado da soma da sua coluna correspondente (COSTA, 2013).

O próximo passo é calcular o valor médio de cada linha da matriz normalizada (matriz A') para se obter o peso relativo a cada critério da estrutura hierárquica, chamado de Prioridade Média Local (PML). As PML são obtidas pela divisão do número de critérios pela soma de cada linha da matriz normalizada.

Na sequência, calculou-se o vetor B para verificar se a valoração obtida mediante as comparações paritárias era cabível ou exagerada (SAATY, 2003). O vetor B é obtido por meio da multiplicação da soma dos elementos de cada linha da matriz A pela PML correspondente. Na sequência, calcula-se o vetor C, que é a razão entre o vetor B e sua respectiva PML. Assim, ao calcular a média do vetor C, obtemos  $\lambda_{\text{máx}}$ , que corresponde ao máximo autovalor possível da matriz A, sendo  $\lambda_{\text{máx}} \geq n$  (SAATY, 2003).

Desta forma, após os cálculos sobre as importâncias relativas dos critérios é preciso calcular a integridade dos julgamentos, por um Índice de consistência (IC), onde  $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/n-1$ . A razão do IC pelo Índice Randômico (IR) vai gerar a Razão de Consistência (RC),  $RC = IC/IR$ , sendo o IR aleatório e varia conforme a dimensão de cada matriz, como proposto por SAATY (1994).

O valor máximo de inconsistência tem que ser 10%, ou seja,  $RC \leq 0,10$ , para que seja considerado um resultado confiável (COSTA, 2013). Caso a RC seja superior a 10% significa que houve atribuição de valores exagerados na comparação paritária, não condizentes com a realidade, considerado “Falso”. Sendo assim, é necessário repetir a comparação paritária e rever os pesos na matriz de julgamento até reduzir a inconsistência a uma faixa de aceitação (SAATY, 2005; COSTA, 2013). Com este processo, terão sido obtidas as prioridades entre os critérios.

### 5.3.3. Análise de Risco

Os subcritérios da AHP foram avaliados, numa análise de risco, quanto ao efeito de cada um na produção de forragem com mitigação de GEE (Impacto); à possibilidade

de esse impacto ocorrer de fato (probabilidade) e, por fim, ao grau de controle que o pequeno proprietário tem sobre esse impacto (de MATTOS *et al.*, 2024a). A influência de cada variável foi determinada de acordo com a escala de valores de 1 a 4 (baixo, moderado, forte e extremo) (TOLMASQUIM *et al.*, 2020; SENRA, 2022). Essa valoração foi feita com base: i) nos resultados da análise SWOT; ii) percepção dos especialistas (entrevistas) e iii) pelo julgamento da autora e colaboradores, baseado no seu conhecimento, experiência e visão analítica. Os valores das três variáveis foram então multiplicados para obtenção do peso dos subcritérios (2º nível), e consequentemente, a hierarquia deles com relação ao 1º nível, dos critérios, ao qual eles se relacionam.

Depois, os subcritérios foram confrontados frente a cada critério para avaliação da contribuição de cada um tanto para o próprio critério quanto para as TecABC, alternativas do problema. Ao final, obteve-se uma ordenação global de prioridade das TecABC para se atingir o objetivo geral da análise (CAMPOLINA *et al.*, 2017; TOLMASQUIM *et al.*, 2020), que é aumentar a produção de alimentos para ruminantes com mitigação da emissão de GEE.

#### **5.3.4. Estudo de Caso PRS Caatinga**

Nesta pesquisa, o Estudo de Caso avaliado teve um enfoque analítico, com formulação de hipóteses, observação participante, entrevistas e análise de documentos e registro de arquivos (DE MELO, 2013). A observação participante é uma técnica bastante interessante, pois o pesquisador se apropria da investigação dentro do estudo do caso (DE MELO, 2013). Eu contribuí na revisão sobre as TecABC e sua aplicabilidade na Caatinga, bem como nos estudos socioeconômicos dos municípios prioritários e na análise integrada dos estudos do Componente 1 do PRS Caatinga.

Para isso, foi feito um processo sistemático de interpretação e reflexão crítica sobre as informações levantadas para avaliar o desempenho do PRS Caatinga, seu impacto e eficiência. Essa análise qualitativa também serviu para esclarecer questões-chaves sobre o desenvolvimento e ações do Projeto e perspectivas futuras na produção agropecuária por meio da agricultura regenerativa de baixa emissão de carbono na Caatinga (de MATTOS *et al.*, 2024b).

As informações avaliadas nos estudos do Componente 1 do PRS Caatinga foram organizadas num mapa mental, elaborado no programa CmapTools, *knowledge*

*modelling kit*, versão 6.04, gratuita, de modo a visualizar as relações das TecABC com as metas, as TS-CSA, ATER e demais ações do Projeto (de MATTOS *et al.*, 2024b). Esse tipo de diagrama é uma importante ferramenta para gestão de informações qualitativas e difusas e pode servir de guia, ao traçar conexões para a compreensão de como alcançar objetivos específicos de uma forma visual que auxilia o planejamento de estratégias (WHEELDON & AHLBERG, 2019).

Posteriormente, os resultados alcançados pelo PRS Caatinga foram divididos entre prós e contras, numa análise da Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça (FOFA), para evidenciar os pontos positivos e as dificuldades do Projeto, de forma a se avaliar a eficiência do uso do pacote de ações integradas utilizado, de acordo com o atingimento dos objetivos e metas previstos (de MATTOS *et al.*, 2024b).

## **CAPÍTULO 6: Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono (TecABC) na Caatinga**

### **6.1. As TecABC e adaptação à Caatinga - oportunidades, desafios e ações**

As TecABC estruturam-se nos princípios da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) e estão relacionadas ao baixo consumo energético, à agricultura circular e orgânica e ao sequestro de GEE no ambiente e a redução de sua emissão na produção agropecuária (XIONG *et al.*, 2016; SU *et al.*, 2017). Elas contribuem com as ações de mitigação, como: a preservação de florestas nativas, a recuperação de áreas degradadas, a redução do desmatamento, a implementação de práticas agrícolas sustentáveis e a diminuição da emissão de GEE (NEWTON *et al.*, 2016; COOPER & PRICE, 2019). As TecABC se baseiam em sistemas integrados, consórcio e rotação de espécies, fixação biológica de nitrogênio, revolvimento mínimo do solo, manejo de floresta, recuperação de áreas degradadas e manejo de dejetos animais. Desta forma, elas são regenerativas, capazes de recuperar a fertilidade e produtividade do solo, melhoram o ecossistema e restabelecem a qualidade de seus serviços, movimentam a economia rural e possibilitam uma agricultura e pecuária sustentáveis; minimizando os efeitos das mudanças climáticas e aumentando a resiliência e a segurança alimentar (XIONG *et al.*, 2016; ALVALÁ *et al.*, 2019; BRASIL, 2019a; VIDIGAL *et al.*, 2019; ANUGA *et al.*, 2020; SHAJEDUL *et al.*, 2021).

O uso de TecABC na Ásia aumentou o crescimento econômico agrícola e o bem-estar dos agricultores (XIONG *et al.*, 2016; CHI *et al.*, 2024). Na China, uma das TecABC mais usadas é o SPD, cobrir o solo com palha triturada (HUI *et al.*, 2023; ZHOU *et al.*, 2023), tecnologia que será detalhada adiante.

A agropecuária, especialmente a pecuária, é o setor com as principais emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), conforme observado na China (SU *et al.*, 2017; SHAJEDUL, 2021). De acordo com BARBOSA *et al.*, (2023), a utilização de tecnologias sustentáveis na pecuária pode ter papel fundamental na redução da pressão sobre vegetação nativa e melhoria dos serviços ecossistêmicos. E, de fato, a TecABC pode ajudar diferentes países a reduzir as emissões nesse setor, selecionando a tecnologia adequada para cada região em relação às características econômicas, sociais e ecológicas (SHAJEDUL, 2021; CHI *et al.*, 2024). De fato, ANUGA *et al.* (2020) destacaram a agrossilvicultura, a agricultura rotativa, a melhoria da pecuária e a

intensificação das dietas dos ruminantes como práticas estratégicas a serem adotadas na África para contribuir com a mitigação das emissões de GEE. CHI *et al.* (2024) sugerem que é necessário adaptar as TecABC para a realidade dos produtores rurais de cada região para que tenham retorno e sejam incorporadas.

E de fato, devido às especificidades climáticas, ecológicas e socioeconômicas da Caatinga, as TecABC precisam ser trabalhadas e empregadas de forma diferenciada, principalmente porque a relação entre os rebanhos e a mata nativa é muito estreita, pelo fato de os animais pastarem diretamente nesta vegetação. Logo, é importante respeitar a cultura e a produção local, de modo a adaptar a implantação das TecABC ao que é feito no dia-a-dia, fortalecendo o uso sustentável da Caatinga, recuperando as condições ambientais, aumentando a biodiversidade, melhorando a economia e a qualidade de vida da população. Outro ponto importante a considerar é a baixa disponibilidade financeira dos pequenos proprietários para realizar investimentos altos e de longo prazo.

As TecABC, descritas no Plano ABC – política pública brasileira que visa mitigar emissão de GEE da agropecuária (BRASIL, 2012) e referidas no Projeto Rural Sustentável (NEWTON *et al.*, 2016) – são detalhadas, a seguir, com as especificidades para a Caatinga e como podem estar relacionadas entre si (Figura 19).



Fonte: TAVARES *et al.*, 2020b.

Figura 19- Relação entre as TecABC na Caatinga.

A **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)** combina diferentes sistemas produtivos (agrícolas, pecuários e florestais) numa mesma área, em qualquer tamanho de propriedade, de forma a criar uma sinergia positiva entre as atividades envolvidas, formando um agroecossistema, ou seja, com uma produção sustentável (BRASIL, 2012; LASCO *et al.*, 2014; KALKAVAN, 2017; VINHOLIS *et al.*, 2021). Sua implantação é incentivada pela lei 12.805/ 2013 (BRASIL, 2013), como forma de transição para uma agricultura sustentável. Uma vez que mantém grande quantidade de carbono no solo e na vegetação, reduz a emissão de GEE e otimiza o uso da terra, essa integração tende a aumentar a produtividade, a diversidade dos produtos e a renda do produtor sem a necessidade de desmatar novas áreas (KICHEL *et al.*, 2014; GONTIJO NETO *et al.*, 2018, RANGEL *et al.*, 2020).

É, portanto, uma tecnologia indicada para recuperar áreas degradadas porque contribui para o aumento dos serviços ambientais, como: a melhoria da qualidade e fertilidade do solo e o controle natural de pragas e de ervas daninhas; e, por meio da rotação de culturas, contribui para a redução do uso de adubos e agrotóxicos (BRASIL, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2013; MIDEGA *et al.*, 2015; MALHI *et al.*, 2021; VINHOLIS *et al.* 2021; FLORIDA ROFNER *et al.*, 2022). Na Caatinga, os tradicionais sistemas agrossilvipastoris estão sendo resgatados e podem ser considerados ILPF, se manejados de forma a mitigar a emissão de GEE. Os modelos de integração na região costumam buscar a redução do superpastejo, o aumento de forragem e a melhoria do conforto térmico para os animais (FARIAS *et al.*, 2018; GONTIJO NETO *et al.*, 2018; RANGEL *et al.*, 2020; GARCIA *et al.*, 2023). Além disso, a ILPF pode ser utilizada para a criação de um banco de forragem e posterior produção de silagem e feno, por meio das técnicas de manejo da vegetação, aumentando a disponibilidade de forragem (MICCOLIS *et al.*, 2019; VINHOLIS *et al.*, 2021). Ainda, a ILPF é considerada uma tecnologia guarda-chuva, porque, além de integrar até três sistemas produtivos, pode incorporar as outras TecABC (Figura 19).

Em geral, nos modelos de ILPF na Caatinga prevalece o adensamento de culturas, em consórcio ou rotação (BARRETO, 2024), numa agricultura de sequeiro. A base dos cultivos agrícolas é composta por milho e feijão, geralmente consorciados com mandioca na Bahia e Pernambuco; com soja no Piauí; com sisal e mamona na Bahia; com hortaliças e plantas medicinais em Pernambuco e com jerimum, mandioca e melancia, no Ceará, de acordo com entrevistados durante o Projeto. Ou então, esses sistemas integrados também podem ser para adequação do manejo pastoril, buscando

reduzir o superpastejo, aumento de forragem, priorizando espécies vegetais nativas, e do conforto térmico aos animais (FARIAS *et al.*, 2018; ALVES & COÊLHO, 2019; MILHORANCE *et al.*, 2022; GARCIA *et al.*, 2023). As principais espécies vegetais utilizadas e recomendadas para essa integração e uso em outras tecnologias estão elencadas no Anexo 1 (TAVARES *et al.*, 2020b).

**O Manejo Sustentável de Florestas (MSF)** é a “*administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema (...), a utilização de múltiplas espécies (...), de múltiplos produtos e (...) bens e serviços de natureza florestal*” (Lei de Gestão de Florestas Públicas - Lei Federal nº 11.284/2006 (BRASIL, 2006b). O MSF é considerado uma TecABC porque conserva grande quantidade de carbono em sua biomassa, tanto nas plantas como no solo, evitando a emissão de GEE para a atmosfera, por não ter manejo do solo. Ele incentiva também o produtor a manter a vegetação nativa da propriedade e entre os seus benefícios ecológicos estão: a conservação da biodiversidade, o enriquecimento e proteção do solo, a proteção de rios e nascentes e o favorecimento de um microclima mais ameno (ARAÚJO FILHO, 2014; KICHEL *et al.*, 2014; FARIAS *et al.*, 2018). Existem várias formas de manejo que devem ser definidas e executadas de acordo com um plano de manejo (VILAR & CARVALHEIRO, 2016). Na Caatinga, essa TecABC é usada no manejo da vegetação lenhosa para a alimentação de ruminantes, a partir das técnicas de rebaixamento, raleamento e enriquecimento, que promovem o aumento de forragens em até 80%, proporcionando uma pecuária mais sustentável em regiões semiáridas (ARAÚJO FILHO, 2013; CAVALCANTE *et al.*, 2013; FARIAS *et al.*, 2018).

**A Recuperação de Áreas Degradadas (RAD)** objetiva restabelecer fluxos e dinâmicas físicas, químicas e biológicas para que uma área volte a ser produtiva, tais como: melhoria na qualidade do solo e da água, aumento da biodiversidade, da captura de carbono, da capacidade de suporte, produtividade e biomassa (THORTON & HERRERO, 2015; DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; STADEL, 2019; FELTRAN-BARBIERI & FÉRES, 2021). Deste modo, a RAD pode ser feita visando a preservação, com o plantio de florestas (RAD-F) o que é conhecido, na Caatinga, por Recaatingamento, com uso de espécies arbóreo-arbusivas, preferencialmente, nativas ou resistentes ao estresse hídrico (FARIAS *et al.*, 2018; CASSIMIRO *et al.*, 2019; STADEL, 2019).

A RAD também pode ser feita com objetivo de criar pastagens (RAD-P), com plantio de espécies vegetais nativas ou adaptadas, que sirvam de alimento para os rebanhos, considerando que na Caatinga, a pastagem deve ser feita nos três estratos da vegetação, com leguminosas, arbustos como mencionado anteriormente (PINHEIRO & NAIR, 2018). O cuidado adequado e constante com a pastagem é importante também para propiciar uma alimentação aos ruminantes que reduza a liberação de gases durante a digestão (ver seção 6.2). Mas vale ressaltar que as plantas só serão destinadas à alimentação quando estiverem consolidadas e forem manejadas para tal função, cerca de 5 a 7 anos após a implementação, o manejo tem que ser contínuo, também na RAD-F, respeitando o crescimento das plantas, controlando pragas e doenças (ARAUÚJO FILHO, 2014; FARIAS *et al.*, 2018; ALVES & COÊLHO, 2019; RANGEL *et al.*, 2019).

É importante destacar que uma área degradada, ou com baixa disponibilidade de forragem, pode ser recuperada com a implantação de uma ILPF, devido aos benefícios anteriormente mencionados, e pode ser agregada a FBN, tanto com espécies arbóreas, quanto herbáceas, aumentando a fertilidade do solo e o valor nutricional (proteico) das forragens, além do benefício da lavoura para subsistência e segurança alimentar.

E por fim, uma importante estratégia que agrupa eficiência na recuperação de áreas degradadas com melhoria na agricultura é favorecer a presença de polinizadores na área de cultivo, que contribuem para a manutenção e prosperidade da floresta como aumentam a produtividade das lavouras cujas culturas precisam de polinização (GAGLIANONI *et al.*, 2015; KIILL *et al.*, 2015; PIRES *et al.*, 2015).

A **Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)** é realizada a partir do enriquecimento de sementes com biofertilizantes ricos em bactérias diazotróficas, que vivem também junto às raízes de certas leguminosas, as quais são capazes de transformar o nitrogênio do ar em nutriente e vivem associadas às raízes de certas leguminosas. Na Caatinga, é comum o consórcio ou rotação de leguminosas com outras culturas, chamado de adubo verde, que é uma estratégia eficiente para a recuperação de áreas degradadas, pois fornece nitrogênio para as plantas sem o uso de aditivos, proporcionando economia e mitigando a emissão de GEE, especialmente óxido nitroso ( $N_2O$ ) (BOSCO *et al.*, 2019; DANTAS *et al.*, 2019; VIDIGAL *et al.*, 2019; FOUTS, 2022; FERNÁNDEZ-ORTEGA *et al.*, 2023). O adubo verde também pode ser utilizado como pastagem, gerando um alimento de alta qualidade nutricional, para aumentar a

produtividade da pecuária (ARAÚJO FILHO, 2013; CAVALCANTE *et al.*, 2013; FREITAS *et al.*, 2015). Essa tecnologia também pode proporcionar melhor agregação do solo e incremento do carbono orgânico e aporte de outros nutrientes e de matéria orgânica; manutenção da umidade do solo; diminuição das temperaturas máximas e da amplitude térmica; proteção permanente contra os principais agentes causadores da degradação dos solos; e controle de plantas espontâneas (TEODORO *et al.*, 2011). O feijão-caupi é geralmente cultivado em consórcio com o milho e integrado à pecuária (FREITAS *et al.*, 2015).

O **Manejo de Dejetos de Animais (MDA)** consiste no manejo adequado dos dejetos da pecuária: coleta, armazenamento, tratamento e utilização agrícola dos subprodutos. Pode ser implementada quando os rebanhos são criados de forma intensiva ou semiextensiva, possibilitando a coleta dos dejetos que podem ser destinados tanto para compostagem (produção de adubo), quanto para biodigestores (produção de biogás metano e de biofertilizante) (BRASIL, 2019b; KALHAPURE *et al.*, 2019; VIDIGAL *et al.*, 2019). Esta TecABC contribui para uma significativa redução das emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), quando empregada em uma escala capaz de suprir parte da necessidade energética da propriedade (ALVES *et al.*, 2018; BRASIL, 2019b; KALHAPURE *et al.*, 2019; VIDIGAL *et al.*, 2019).

O **Sistema de Plantio Direto (SPD)** é também um manejo conservacionista cujo objetivo é não revolver o solo, evitando perda de carbono e nitrogênio e aumentando a produtividade da lavoura (DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; VIDIGAL *et al.*, 2019; MALHI *et al.*, 2021; YUAN *et al.*, 2022; FERNÁNDEZ-ORTEGA *et al.*, 2023). Suas principais técnicas são: o recobrimento permanente do solo (com palha da lavoura anterior), a rotação de culturas, o consórcio e a semeadura direta (YUAN *et al.*, 2022; FERNÁNDEZ-ORTEGA *et al.*, 2023). Segundo ABDALLA *et al.* (2016) e MULIMBI *et al.* (2019) o SPD é uma medida eficaz para mitigação das perdas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em solos secos e, de acordo com ZHANG *et al.* (2021), a permanência da palha sobre o terreno aumenta a concentração de carbono em solos argilosos. Como também manter o solo coberto ajuda a manter a qualidade física do solo, a manter e aumentar sua umidade, fornecer nutrientes, tornando-o mais fértil (RAHMAN *et al.*, 2021). Desta forma, é importante evitar que o solo fique descoberto durante o período de pousio, mesmo que para isso, seja plantada uma cultura apenas com a função de cobrir o solo.

Vale ressaltar que, SALLES *et al.* (2016) afirmam ser uma tecnologia mais adequada para regiões com agricultura irrigada para produção de forragem, para assim não comprometer o preparo do solo caso não haja chuva para o plantio. E, devido à prevalência da pecuária na Caatinga, geralmente a palhada serve de alimento para os animais (NASUTI & LINDOSO, 2015) ou fica degradada com as altas temperaturas. Mas desta forma, o solo estaria privado de receber uma fonte natural de nutrientes (MULIMBI *et al.*, 2019). Portanto, esta não é uma TecABC recomendada para os pequenos produtores com rebanhos na região (TAVARES *et al.*, 2020b).

De fato, tradicionalmente, na Caatinga os rebanhos são soltos numa área, após a colheita, para se alimentarem dos restos culturais (palhada) e deixam o solo compactado, devido ao pisoteio dos animais, e praticamente nu, sem matéria orgânica por um longo período. Podendo essa área até mesmo ser arrendada a um pecuarista para este fim (TAVARES *et al.*, 2020b) Neste cenário, TecABC como o SPD não ganham muito espaço devido à competição pelo uso da palhada para a alimentação animal (TAVARES *et al.*, 2020b).

## 6.2. TecABC e os municípios prioritários do PRS Caatinga

As matrizes resultantes da análise FOFA, relativas a cada uma das microrregiões frente às sete TecABC, indicam as vantagens de cada uma e os pontos de menor alinhamento com essas regiões estudadas pelo PRS Caatinga. Vale ressaltar que a baixa assistência técnica nas microrregiões foi uma ameaça para a implantação das TecABC.

Para a análise da empregabilidade da ILPF, em cada microrregião, foram destacados os seguintes critérios: i) presença de área cultivada com espécies florestais também usada para lavouras e pastoreio; ii) produção de lavouras permanentes e temporárias; e, iii) principal tipo de rebanho pecuário. Dentre as ameaças à implantação está o uso da terra e titularidade da propriedade, pois para se implantar esta tecnologia são necessários investimentos financeiros cujo tempo de retorno pode ir além do tempo de uso daquela terra pelo produtor (Figura 20).

O MSF tem forte indicação para microrregiões que têm a apicultura como importante arranjo produtivo a ser fortalecido ou implementado, bem como para aquelas com maiores áreas de vegetação nativa em suas propriedades rurais, por ser

possível que sejam manejadas e conservadas ao mesmo tempo. A ovinocaprinocultura, a bovinocultura e o extrativismo de frutos nativos também foram aspectos relevantes, considerados oportunidade para implantação do manejo da Caatinga. Como ameaça para esta tecnologia, identificou-se o extrativismo de lenha e de carvão e extensas áreas de pastagens degradadas (Figura 21).

O uso da RAD-F visa restabelecer os fluxos ecológicos da área, e melhorar a oferta e qualidade dos recursos naturais e, desta forma, as médias de ocorrência de eventos de seca de cada microrregião foram consideradas, que representa a relação entre o número total de secas registrada entre 2003 e 2015, em todos os municípios, e o número de municípios. Menores áreas de vegetação natural presentes dentro dos estabelecimentos agropecuários indicam potenciais áreas para implementação do Recaatingamento. Uma ameaça para esta tecnologia são as microrregiões que têm importante produção pecuária de bovinos, cujo interesse em plantar floresta seria baixo ou insignificante (Figura 22).

As ameaças e oportunidades em relação à RAD-P são as mesmas para todas as microrregiões. Importante destacar que, apesar das pastagens representarem uma grande área, na Caatinga elas são diferentes das pastagens tradicionais, por serem distribuídas nos três estratos da vegetação (Figura 23).

Para a análise da FBN com uso de inoculantes utilizou-se as informações sobre as principais culturas das microrregiões que possuem inoculantes específicos: cana-de-açúcar, milho, feijão e arroz (Figura 24). Nesse sentido, a produtividade de cada uma destas culturas foi obtida a partir da relação entre toneladas produzidas e área total por microrregião e esta produtividade foi comparada entre as microrregiões (alta ou baixa produtividade). Quanto à FBN como adubo verde, não foi considerada nesta análise pois partiu-se da definição geral desta TecABC.

O MDA tem oportunidades e ameaças muito similares para todas as microrregiões, como a pecuária extensiva, por exemplo, que torna a coleta dos dejetos inviável; e, a venda de esterco para outros produtores, impedindo que essa fonte de nutrientes permaneça no local de origem. Por outro lado, a criação de gado leiteiro facilita a coleta desses dejetos, permitindo a implantação de biodigestores de maior capacidade. Além disso, o uso do esterco em biodigestores caseiros é uma forma de evitar a retirada de lenha para cocção (MAZORRA *et al.*, 2019) (Figura 25).

## ILPF

	Forças	Fraquezas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integra componentes dentro da mesma área agrícola.</li> <li>• Possibilita fornecimento de produtos diversificados.</li> <li>• Aumenta produtividade por unidade de área agrícola</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de mão de obra e técnica.</li> <li>• Necessita da integração entre dois ou mais componentes.</li> <li>• Sem o componente florestal, deixa de ter os benefícios ambientais associados a ele.</li> </ul>
	Oportunidades	Ameaças
Araripea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 29% cultivam em sistema agrosilvopastoril</li> <li>• Produção de banana e goiaba</li> <li>• Produção de abóbora, feijão fradinho, macaxeira, milho grão</li> <li>• Maior produtor de lenha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor produção de lavoura temporária</li> <li>• Somente 4% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• 13% das propriedades pertencem a terceiros</li> </ul>
Alto médio Canindé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 38% das propriedades cultivam em sistema agrosilvopastoril</li> <li>• Maior rebanho de ovinos e caprinos</li> <li>• Produção de banana e caju</li> <li>• Produção de abóbora, feijão fradinho, macaxeira, milho grão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor IDH de todas as microrregiões.</li> <li>• Somente 2% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• 17% das propriedades pertencem a terceiros</li> <li>• 1,6% dos produtores não possuem área</li> </ul>
Batalha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 93% das pastagens são naturais (Caatinga)</li> <li>• Segundo maior rebanho de bovinos leiteiros</li> <li>• Produção de milho forrageiro, palma forrageira</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente 2% cultivam em sistema agrosilvopastoril</li> <li>• Somente 8,6% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• 1,4% dos produtores não possuem área</li> </ul>
Euclides da Cunha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 27% das propriedades cultivam em sistema agrosilvopastoril</li> <li>• Produção de feijão fradinho, palma forrageira</li> <li>• Segundo maior rebanho de ovinos, caprinos e bovinos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente 11% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• 1,4% dos produtores não possuem área</li> </ul>
Sergipana do Sertão do São Francisco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14% cultivam em sistema agrosilvopastoril</li> <li>• Produção de acelorola, banana, goiaba manga e maracujá</li> <li>• Produção de milho forrageiro, palma-forrageira</li> <li>• Maior rebanho de bovinos leiteiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultivo convencional (48%) é alto</li> <li>• Somente 12% das propriedades recebem assistência técnica</li> </ul>

Figura 20- Matriz FOFA da ILPF para as 5 microrregiões.

## MSF

	Forças	Fraquezas
Araripe Ariipina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manter a vegetação nativa e preservar seus serviços ecossistêmicos, importantes para o ambiente e para a propriedade.</li> <li>• Produz renda para o produtor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo burocrático de implementação: elaboração de plano, autorização, regularização e monitoramento.</li> <li>• Mão de obra excessiva para manejo da vegetação nativa.</li> </ul>
Alto médio Canindé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Associações de apicultores</li> <li>• 60600 ha de vegetação natural dentro de propriedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente 4% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• Desmatamento excessivo para produção de lenha</li> <li>• 70% da produção de carvão vegetal</li> </ul>
Batalha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior rebanho de ovinos e caprinos</li> <li>• Segunda maior produção de umbu</li> <li>• Associações de apicultores</li> <li>• 127600 ha de vegetação natural dentro de propriedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor IDH de todas as microrregiões</li> <li>• Somente 2% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• 28% da produção de carvão vegetal</li> <li>• Produção de lenha</li> </ul>
Euclides da Cunha	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segundo maior produtor de castanha de caju e licuri</li> <li>• 3800 ha de vegetação natural dentro de propriedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente 9% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• Desmatamento da vegetação original para produção agropecuária</li> </ul>
Sergipana do Sertão do São Francisco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segundo maior rebanho de ovinos, caprinos e bovinos</li> <li>• Maior produção de caju, licuri e umbu</li> <li>• Associações de apicultores</li> <li>• 65800 ha de vegetação natural nas propriedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente 11% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• Maior área de pastagens em más condições</li> </ul>

Figura 21- Matriz FOFA do MSF para as 5 microrregiões.

## RAD-F

	Forças	Fraquezas
<i>Araripea</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recupera a estrutura do solo.</li> <li>• Preserva e resgata serviços ecossistêmicos.</li> <li>• Desenvolve economia florestal, diversifica produtos (extrativistas, madeireiros) e aumenta renda (PLANTADA).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não necessita de integração com componentes agrícolas e/ou pastoris.</li> <li>• Cuidados para sobrevivência das mudas e sementes.</li> <li>• Alto custo para implementação e longo tempo de retorno (que nem sempre é monetário) (NATIVAS).</li> </ul>
<i>Alto médio Canindé</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 48% das pastagens em más condições</li> <li>• Associações de apicultores</li> <li>• Maior produção de lenha e carvão vegetal</li> <li>• Média de 19 eventos de seca entre 2013 a 2015</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente 4% das propriedades recebem assistência técnica</li> </ul>
<i>Batalha</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Associações de apicultores</li> <li>• Média de 12 eventos de seca entre 2013 a 2015</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor IDH de todas as microrregiões.</li> <li>• Somente 2% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• Produtor não faz reflorestamento, vegetação se restabelece sozinha</li> </ul>
<i>Euclides da Cunha</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apenas 4% das áreas das propriedades possuem vegetação natural</li> <li>• Média de 17 eventos de seca entre 2013 a 2015</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente 9% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• Segunda menor produção extrativista</li> </ul>
<i>Sergipana do Sertão do São Francisco</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 11% da área da microrregião é de pastagens em más condições</li> <li>• Associações de apicultores</li> <li>• Média de 7,8 eventos de seca entre 2013 a 2015</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somente 11% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>• Segundo maior de bovinos</li> </ul>

Figura 22- Matriz FOFA da RAD-F para as 5 microrregiões.

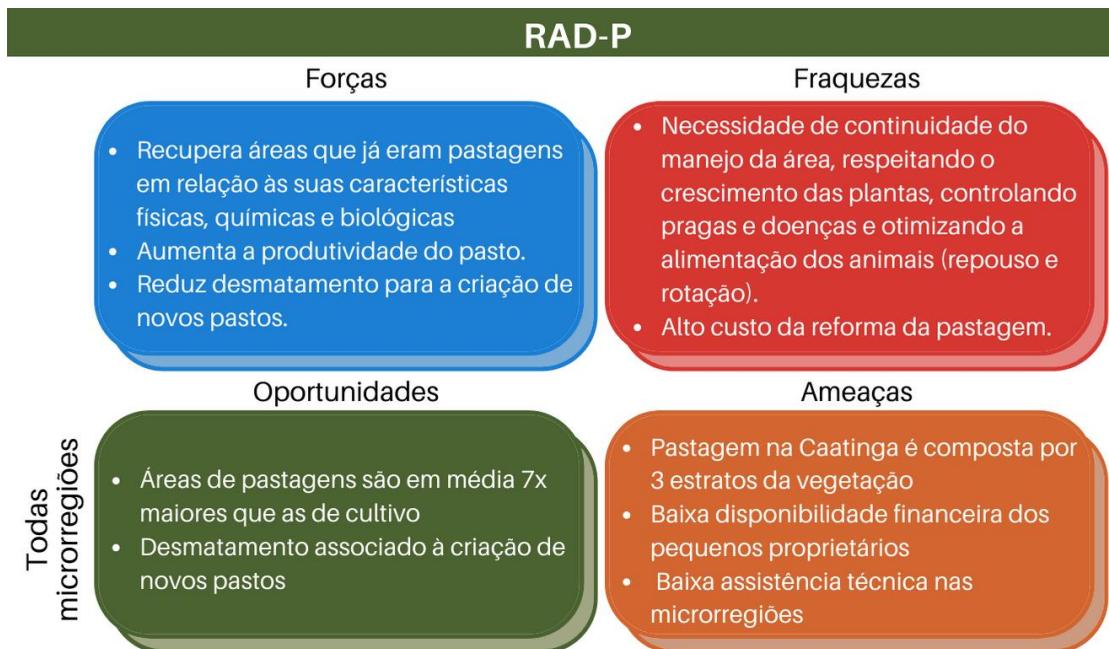


Figura 23- Matriz FOFA da RAD-P para as 5 microrregiões.

As ameaças e oportunidades em relação ao SPD também são as mesmas para todas as microrregiões. Sendo que a maior oportunidade seria a proteção do solo contra erosão e o fornecimento de nutrientes. Por outro lado, a maior ameaça é a competição pela palhada para alimentação animal (Figura 26).

Com a análise dessas matrizes, conclui-se que há oportunidade de se aumentar a produção agrossilvipastoril, e de se implantar as TecABC, com o fortalecimento da assistência técnica, que é essencial na transição para uma nova tecnologia e é uma ameaça comum a todas microrregiões.

FBN			
	Forças	Fraquezas	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumentam fertilidade do solo e reduz uso fertilizantes.</li> <li>Com inoculantes, maior resistência aos estresses ambientais e maior eficiência na absorção de água e nutrientes do solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conhecimento de poucas culturas fixadoras.</li> <li>Necessidade do uso de inoculantes para acesso a financiamento.</li> <li>Poucas espécies têm inoculantes próprios.</li> </ul>	
	Oportunidades	Ameaças	
Araripea	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maior produtividade de cana-de-açúcar e cana-de-açúcar forrageira</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Somente 4% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>85% das propriedades não realizam adubação</li> </ul>	
Alto médio Canindé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produção de arroz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menor IDH de todas as microrregiões</li> <li>Somente 2% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>91% das propriedades não fazem adubação</li> </ul>	
Batalha	<ul style="list-style-type: none"> <li>Produtividade relevante de feijão verde</li> <li>Elevada produtividade de milho grão</li> <li>33% dos estabelecimentos realizam adubação (88% orgânica)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Somente 9% das propriedades recebem assistência técnica</li> </ul>	
Euclides da Cunha	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maior produtividade de feijão, em especial o feijão-fradinho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Somente 11% das propriedades recebem assistência técnica</li> <li>74% das propriedades não realizam adubação</li> </ul>	
Sergipana do Sertão do São Francisco	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maior produtividade de feijão verde</li> <li>Elevada produtividade de milho grão</li> <li>Maior produtividade de milho forrageiro</li> <li>49% das propriedades fazem adubação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Somente 12% das propriedades recebem assistência técnica</li> </ul>	

Figura 24- Matriz FOFA da FBN para as 5 microrregiões.

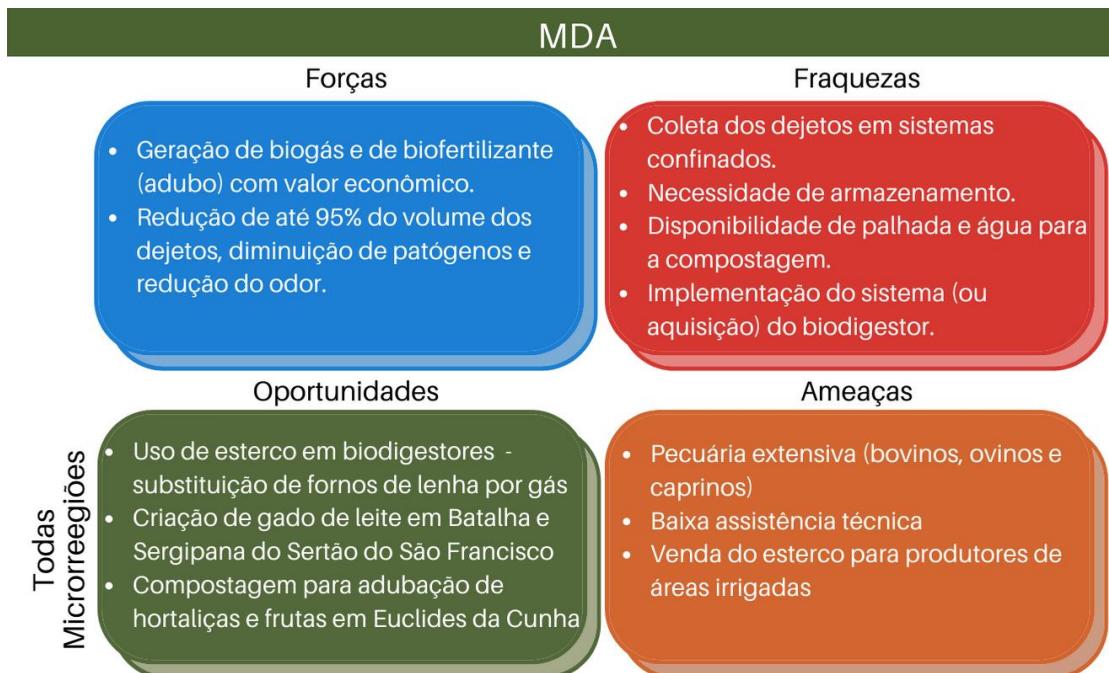


Figura 25- Matriz FOFA do MDA para as 5 microrregiões.



Figura 26- Matriz FOFA do SPD para as 5 microrregiões.

### **6.3. TecABC específicas para produção de forragens para ruminantes**

A pecuária é a principal atividade econômica na Caatinga, principalmente caprinos e ovinos, por apresentar maior resistência à seca e menor risco, se comparada à agricultura de sequeiro, garantindo a segurança alimentar dos produtores familiares e a geração de emprego e renda (ARAÚJO FILHO, 2014; NASUTI & LINDOSO, 2015; MILHORANCE *et al.*, 2022; SIGNOR *et al.*, 2022). Portanto, a produção agrícola na Caatinga é bastante voltada para a alimentação dos ruminantes, como pode-se observar também na análise FOFA realizada.

As ameaças das mudanças climáticas aos rebanhos da Caatinga estão relacionadas principalmente à alimentação de qualidade, áreas adequadas para o pastoreio, cada vez mais degradadas, e formas de amenizar a convivência com as temperaturas elevadas, que podem causar doenças e afetar o apetite do rebanho, resultando em queda de produtividade: produção de leite, número da ninhada e fertilidade e até em morte, como observado na grande seca que assolou o país entre 2011 e 2018 (BRITO *et al.*, 2018; CARRÃO *et al.*, 2018; ALVALÁ *et al.*, 2019; VIDIGAL *et al.*, 2019).

Algumas mudanças na gestão da propriedade permitem que o pecuarista incremente sua produção e a torne resiliente, como, por exemplo: melhorar a qualidade das pastagens e recuperar áreas degradadas; a rotação de pastagens, para se evitar o sobrepastejo, o plantio de palmas e a divisão em piquetes; utilizar resíduos de plantações como alimento para o rebanho; diversificar a produção agropecuária com implementação de novas técnicas; diversificar o rebanho com raças e linhagens resistentes à seca e às doenças, que podem ser hibridizadas com espécies selvagens, fortalecendo a resiliência das novas gerações de animais e ajustar o calendário de produção, como abater os animais mais cedo (KALKAVAN, 2017; PHUONG *et al.*, 2018; BATISTA *et al.*, 2019; KALHAPURE *et al.*, 2019; VIDIGAL *et al.*, 2019; ANUGA *et al.*, 2020; EUGÈNE *et al.*, 2021; FOUTS *et al.*, 2022; MILHORANCE *et al.*, 2022). Em alguns casos, vender os animais ou trocá-los por grãos pode ser uma estratégia eficiente quando não se tem condições de fazer o rebanho prosperar (AYANTUNDE *et al.*, 2015; VIDIGAL *et al.*, 2019).

Uma das maiores fontes de emissão de metano provém da fermentação entérica dos ruminantes, portanto, ajustes na pecuária favorecem sua mitigação (RATHMANN *et al.*, 2017; SU *et al.*, 2017; TORRES *et al.*, 2020; FOUTS *et al.*, 2022), mais

especificamente na produção da forragem e sua qualidade. Tradicionalmente, o pastejo de ruminantes na Caatinga é realizado de forma extensiva, com animais soltos se alimentando da vegetação da Caatinga, o que eleva o metabolismo deles, devido às distâncias que percorrem pastando e, considerando o tipo de dieta, pode aumentar a fermentação entérica, principal fonte de emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) (SU *et al.*, 2017; ALVES *et al.*, 2018; BARBOSA *et al.*, 2018; BERGAMASCO & CAMARGO, 2019; MILHORANCE *et al.*, 2022). Isso ocorre porque a fermentação depende da qualidade do alimento.

De fato, de acordo com alguns autores (BATISTA *et al.*, 2019; EUGÈNE *et al.*, 2021; FOUTS *et al.*, 2022), a digestão entérica pode ser reduzida com ajustes na alimentação. A fibra, de baixa qualidade nutricional, tem digestibilidade lenta e leva mais tempo para ser digerida e fermenta por mais tempo; portanto, pode produzir mais metano do que a ingestão de alimentos de alta qualidade nutricional, que passam pouco tempo no rúmen (ALVES *et al.*, 2018; BARBOSA *et al.*, 2018). Por outro lado, apesar de fibrosas, as plantas da Caatinga podem contribuir para a diminuição da emissão de metano, devido à alta quantidade de tanino, que inibe a ação das bactérias no rúmen (KOENIG & BEAUCHEMIN, 2018; EUGÈNE *et al.*, 2021; FOUTS *et al.*, 2022).

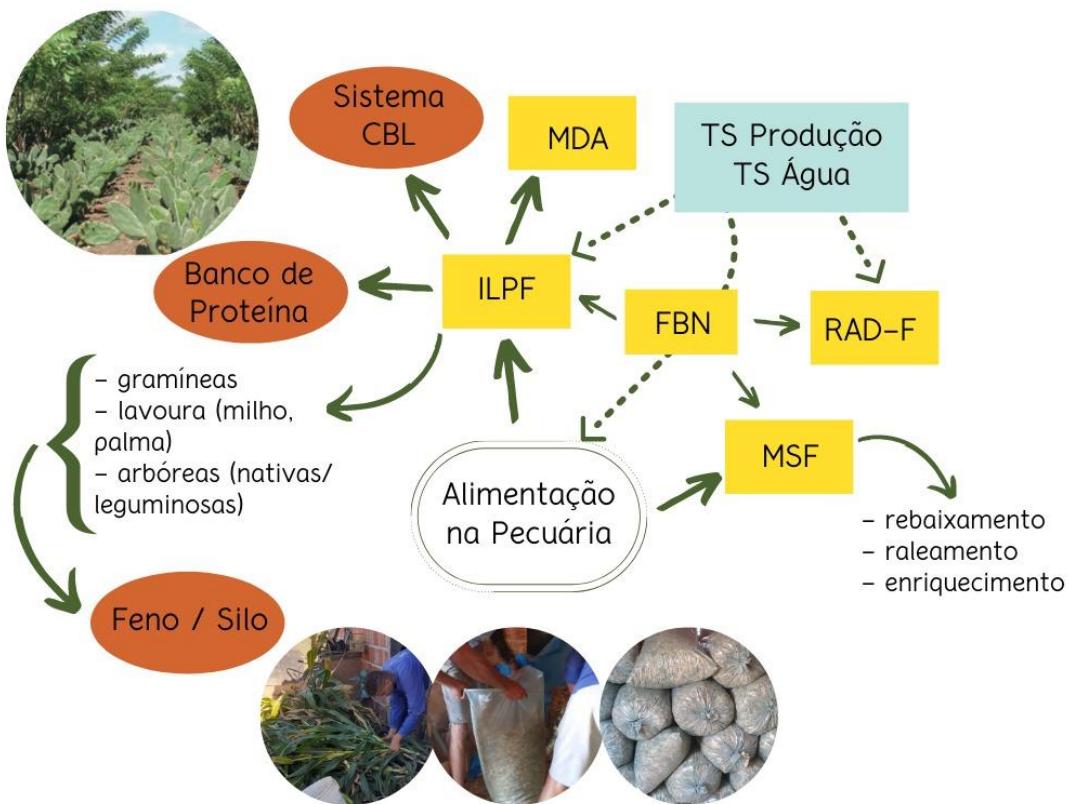
Com base em experimentos, a dieta ideal é a combinação entre forragem (feno e silagem) e concentrado (milho e soja), numa razão de 20:80, que diminui a emissão de metano em até 50% se comparada com uma dieta exclusiva de forragem, estratégia eficiente por alterar a fermentação ruminal (NA *et al.* 2017; BARBOSA *et al.*, 2018; FOUTS *et al.*, 2022). Ainda, segundo SANTANA NETO *et al.* (2015) o milho pode ser substituído, em até 75%, por farelo de palma forrageira sem alterar a digestibilidade nem perder valor nutricional, desde que misturado com fibras e proteínas.

Portanto, alimentar os rebanhos com vegetação da Caatinga pode reduzir as emissões de GEE, elevar a produtividade, devido ao seu alto valor nutritivo e aumentar a resiliência da produção pecuária no semiárido (ARAÚJO FILHO, 2013; 2014; CAVALCANTE *et al.*, 2013; PEREIRA-FILHO *et al.*, 2013; ALVES *et al.*, 2018). Dessa forma, a diversidade da vegetação da Caatinga, apresenta uma gama de opções para manejo das espécies que causem menores taxas de emissão de metano ruminal e que promovam melhor desempenho animal (ALVES *et al.*, 2018).

É importante ressaltar que mais de 70% das espécies de plantas nativas da Caatinga estão incluídas na dieta dos ruminantes (Anexo1), distribuídas nos três estratos da mata: herbáceo, arbustivo e arbóreo, por prevalecer, tradicionalmente, uma

pastagem natural no bioma (ARAÚJO-FILHO, 2014), e não uma área coberta somente por gramíneas, até porque o capim não resiste à seca. Os caprinos se alimentam da vegetação dos três estratos enquanto os bovinos e ovinos se alimentam preferencialmente do estrato herbáceo (ARAÚJO FILHO, 2013; 2014; CAVALCANTE *et al.*, 2013; GAIVIZZO *et al.*, 2019). Além disso, os pequenos ruminantes, mais abundantes no bioma, emitem menos metano do que os bovinos e são mais resistentes à seca (MILHORANCE *et al.*, 2022).

A adoção de TecABC prioriza o manejo intensivo e os sistemas integrados que levam ao aumento da produtividade animal numa mesma área, evitando o desmatamento de vegetação nativa tanto para a expansão de pastagem quanto para o plantio de forrageiras. Dessa forma, o ecossistema é preservado, aumentando o potencial de sequestro de carbono, devido ao acúmulo de matéria-orgânica no solo e, consequentemente, diminui a emissão dos GEE (DHANYA & RAMACHANDRAN, 2016; NEWTON *et al.*, 2016; RATHMANN *et al.*, 2017; STADEL, 2019; IWATA *et al.*, 2021; SIGNOR *et al.*, 2022). A produção da forragem e a participação das TecABC e TS-CSA neste processo está ilustrada na Figura 27.



Adaptado de: de MATTOS *et al.*, 2024a.

Figura 27– Relação das TecABC, potencializadas pelas TS-CSA, na produção de forragem para os ruminantes da Caatinga.

Considerando o exposto acima, optou-se por avaliar e a compreender como as TecABC podem contribuir com a produção de forragem na Caatinga, comparando-as e analisando quais são as mais recomendadas, para que esta produção seja ajustada e se torne mais produtiva e resiliente, ao mesmo tempo em que diminui as emissões de GEE.

#### 6.4. Avaliação das TecABC na produção de forragem na Caatinga

O conteúdo deste item foi publicado, em inglês, num artigo científico na Revista Scientia Agropecuria, e foi mencionado ao longo do texto, como: de MATTOS *et al.*, 2024a.

As características das TecABC analisadas e sua empregabilidade, de acordo com as características da Caatinga, estão representadas nas matrizes FOFA (Quadro 12). Além da força das TecABC para mitigar a emissão de GEE, do ganho produtivo e do aumento da renda dos pequenos agricultores, a ILPF e o MSF também têm um tempo de retorno curto na produção de forragem.

Quadro 12- Matrizes FOFA das TecABC ILPF, MSF e RAD-P.

<i>Força da ILPF:</i>	<i>Fraqueza da ILPF:</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integra dois ou três componentes produtivos na mesma área, fornecendo forragem cada vez mais diversificada.</li> <li>- Aumenta a produtividade da forragem por unidade.</li> <li>- O componente florestal proporciona conforto térmico e forragem para os ruminantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita de mais mão-de-obra e suporte técnico para sua implementação.</li> <li>- Se implementado sem o componente florestal, carece de importantes benefícios nutricionais, forrageiros e ambientais.</li> <li>- O custo pode ser de médio a alto, dependendo do arranjo.</li> </ul>
<i>Oportunidades da ILPF:</i>	<i>Ameaças da ILPF:</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presença de agrofloresta na propriedade e criação de gado de forma não integrada.</li> <li>- Produção de culturas temporárias: milho forrageiro e palma entre outras espécies forrageiras.</li> <li>- Expressiva criação de ovinos e caprinos e presença de criação de gado leiteiro.</li> <li>- Apicultura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto nível de cultivo convencional nas propriedades.</li> <li>- Padrões de uso da terra e condições de propriedade</li> <li>- Baixa produção de lavoura temporária, pois dificultaria a inserção de forragem herbácea.</li> </ul>
<i>Forças do MSF:</i>	<i>Fraquezas do MSF:</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantém a vegetação nativa, preserva os serviços do ecossistema, aumenta a forragem para ruminantes.</li> <li>- Gera menos despesas com insumos para a produção de forragem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Burocracia: plano de gestão, autorização, regularização e monitoramento.</li> <li>- Mão-de-obra excessiva para gerenciar a vegetação com maquinário caro para aumentar a oferta de forragem.</li> </ul>
<i>Oportunidades do MSF:</i>	<i>Ameaças do MSF:</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presença de vegetação de Caatinga na propriedade e seu uso como pasto natural.</li> <li>- Criação principalmente de ovelhas e cabras.</li> <li>- Extrativismo de frutas nativas.</li> <li>- Apicultura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desmatamento para produção rural e extração de lenha e carvão vegetal.</li> <li>- Presença de grandes áreas degradadas de pastagens.</li> </ul>
<i>Forças da RAD-P:</i>	<i>Fraquezas da RAD-P:</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restaura áreas que já eram pastagens, recuperando as características físicas, químicas e biológicas, a estrutura e a fertilidade do solo, os serviços do ecossistema e o aumento da biomassa.</li> <li>- Aumenta a produtividade da pastagem degradada, aumentando a diversidade e a qualidade da produção de forragem.</li> <li>- Evita o desmatamento de florestas nativas para cultivo ou novas pastagens.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O manejo da área deve ser contínuo, com monitoramento do crescimento das mudas, evitando pragas e doenças e controlando o pastoreio dos animais (pousio e rotação de pastos).</li> <li>- Longo tempo de retorno para a produção de alimentos.</li> <li>- Alto custo de implantação.</li> </ul>
<i>Oportunidades da RAD-P:</i>	<i>Ameaças da RAD-P:</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- A presença de mais pastagens do que plantações de alimentos na propriedade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produtores que criam principalmente rebanho bovino, em pastagens monoculturais de gramíneas e não estão</li> </ul>

- 
- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pastagens degradadas que podem ser recuperadas nas propriedades.</li> <li>- Possibilidade de evitar a desertificação de pastagens degradadas, recuperando-as também com arbustos e pequenas árvores.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- acostumados com as pastagens tradicionais da Caatinga.</li> <li>- Produtores que não estão acostumados a reflorestar, deixando a vegetação se restabelecer sozinha.</li> <li>- A necessidade de plantar mudas durante a estação chuvosa para que se estabeleçam melhor.</li> <li>- Baixa disponibilidade financeira dos pequenos produtores.</li> </ul> |
|--|--|
- 

Fonte: de MATTOS *et al.*, 2024a.

A relação da definição dos critérios com o roteiro das entrevistas semiestruturadas está apresentada no Quadro 13. A relação dos pontos fortes e fracos das TecABC na análise FOFA e sua influência na definição dos critérios estipulados para a AHP é mostrada no Quadro 14.

**Quadro 13– Roteiro das entrevistas semiestruturadas e a relação com os critérios para a AHP.**

Temas	Critérios
Conhecimento sobre agricultura de baixo carbono.	Oferta de Forragem Capital Natural Capital Humano Mitigação emissão GEE
Período de retorno do investimento em uma nova tecnologia.	Capital Físico
Principais arranjos para um sistema agrossilvopastoril.	Oferta de Forragem Mitigação emissão GEE
Espécies de plantas usadas na RAD-P.	Oferta de Forragem Capital Natural
O rebanho é dividido em piquetes?	Capital Humano
A pecuária é extensiva ou semiextensiva?	Mitigação emissão GEE
A pecuária é feita em áreas coletivas?	Capital Humano Capital Físico
Há uso da palha do SPD para alimentar ruminantes?	Oferta de Forragem Mitigação emissão GEE

Há uso das técnicas de manejo da vegetação da Caatinga (rebaixamento, raleamento e enriquecimento)?	Oferta de Forragem Capital Humano Capital Físico
---	--

Fonte: Elaboração Própria.

Quadro 14- Resultados da FOFA e a relação com os critérios da AHP.

Resultados da FOFA	Critérios
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da diversidade de forragem para os ruminantes;</li> <li>- Aumento da quantidade de forragem pelo incremento da produtividade;</li> <li>- O componente florestal fornece forragem para os ruminantes.</li> </ul>	Oferta de Forragem
<ul style="list-style-type: none"> <li>- A manutenção da vegetação nativa e dos serviços ecossistêmicos e a recuperação da estrutura do solo;</li> <li>- Redução do desmatamento da floresta nativa para criar novas áreas de cultivo ou de pastagem;</li> <li>- A recuperação de florestas e pastagens degradadas, restaura os serviços ecossistêmicos e a estrutura do solo.</li> </ul>	Capital Natural
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mão-de-obra extra e assistência técnica necessárias para sua implementação;</li> <li>-Burocracia para a implementação da TecABC: plano de manejo, autorização, regularização, manutenção e monitoramento;</li> <li>- Mão-de-obra excessiva para o manejo da vegetação.</li> </ul>	Capital Humano
<ul style="list-style-type: none"> <li>- A implementação da TecABC pode ser de médio a alto custo, dependendo do arranjo e das condições da área;</li> <li>- Gera menos despesas com insumos para a produção;</li> <li>- Necessidade de uso de maquinário caro;</li> <li>- Longo tempo de retorno para a produção de forragem.</li> <li>- Alto custo de implantação.</li> </ul>	Capital Físico
<ul style="list-style-type: none"> <li>- A manutenção da vegetação nativa e da recuperação florestal;</li> <li>- O aumento do sequestro de carbono do solo;</li> <li>- O aumento da produtividade de pastagens degradadas;</li> <li>- A redução do desmatamento de florestas nativas para criar novas áreas de cultivo ou</li> </ul>	Mitigação da Emissão de GEE

---

de pastagem.

---

Fonte: de MATTOS *et al.*, 2024a.

A partir dos dados levantados e dos resultados da FOFA, além dos cinco critérios, foram definidos nove subcritérios para a AHP, detalhados no Quadro 15, para analisar as TecABC.

Quadro 15- Descrição dos critérios e subcritérios da AHP e sua relação com a análise de risco.

AHP		Análise de Risco
Critérios	Subcritérios	
<b>Oferta de Forragem</b> Forragem de alta qualidade produzida pela TecABC, disponibilidade de plantas de qualidade, minimizando a necessidade de suplementos alimentares.	<b>Variedade de forragem:</b> vegetação nutritiva da Caatinga: leguminosas (proteína), cactos (ricos em água), palha de lavoura, arbustos e grama.  <b>Quantidade de forragem:</b> natural ou feno/silagem, fornecida pela TecABC na maior parte do ano.	
<b>Capital Natural</b> Recursos naturais renováveis e não renováveis disponíveis, que influenciam a produção de forragem.	<b>Fatores geofísicos e geoquímicos:</b> recursos abióticos disponíveis (área, solo, água).  <b>Fatores Biológicos:</b> preservação dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade, como fauna edáfica, pragas e ervas daninhas controladas por plantas e insetos.	
<b>Capital Humano</b> Pessoal envolvido com a implementação e manutenção da TecABC, como: gestão da propriedade, documentação, assistência técnica e mão-de-obra.	<b>Gestão da propriedade:</b> planejamento, implementação e monitoramento da TecABC, diagnóstico da área (solo, uso da terra, arranjos produtivos), avaliação de infraestrutura, equipamentos e logística, consultoria e assistência técnica.  <b>Mão-de-obra operacional:</b> demanda de mão-de-obra familiar ou especializada (geralmente para implementação da TecABC ou no período de colheita).	
<b>Capital Físico</b> Equipamentos e produtos essenciais para a TecABC. O valor monetário dos insumos é bastante diferente e, portanto, foi feita apenas uma relação entre os itens previstos, sem considerar as discrepâncias monetárias.	<b>Bens Permanentes:</b> máquinas, equipamentos e melhorias necessárias na propriedade. O investimento é recompensado a longo prazo e pode ser feito coletivamente, por cooperativas.  <b>Materiais de Consumo:</b> necessidade de compra de insumos biológicos e químicos para a TecABC, não produzidos na propriedade (fertilizantes, corretivos, agrotóxicos, mudas, grãos, sementes, outros).	
<b>Mitigação da Emissão de GEE</b>	<b>Redução das emissões de carbono e metano:</b> relacionada às emissões de metano, devido ao deslocamento de animais e à	

---

Potencial estimado da TecABC em mitigar a emissão de GEE na produção de forragem para ruminantes. possibilidade de gerenciamento de resíduos. Também se refere a evitar o desmatamento e ao acúmulo de carbono na biomassa.

---

Fonte: de MATTOS *et al.*, 2024a.

Dos cinco critérios, foram feitas dez comparações de paridade com base em sua importância para o objetivo do estudo, apresentadas na matriz de julgamento (Tabela 3).

Tabela 3- Matriz de julgamento de critérios.

Critérios	Oferta de Forragem	Capital Natural	Capital Humano	Capital Físico	Mitigação de GEE
<b>Oferta de Forragem</b>	1,00	2,00	3,00	7,00	9,00
<b>Capital Natural</b>	0,50	1,00	2,00	5,00	6,00
<b>Capital Humano</b>	0,33	0,50	1,00	4,00	4,00
<b>Capital Físico</b>	0,14	0,20	0,25	1,00	3,00
<b>Mitigação de GEE</b>	0,11	0,17	0,25	0,33	1,00

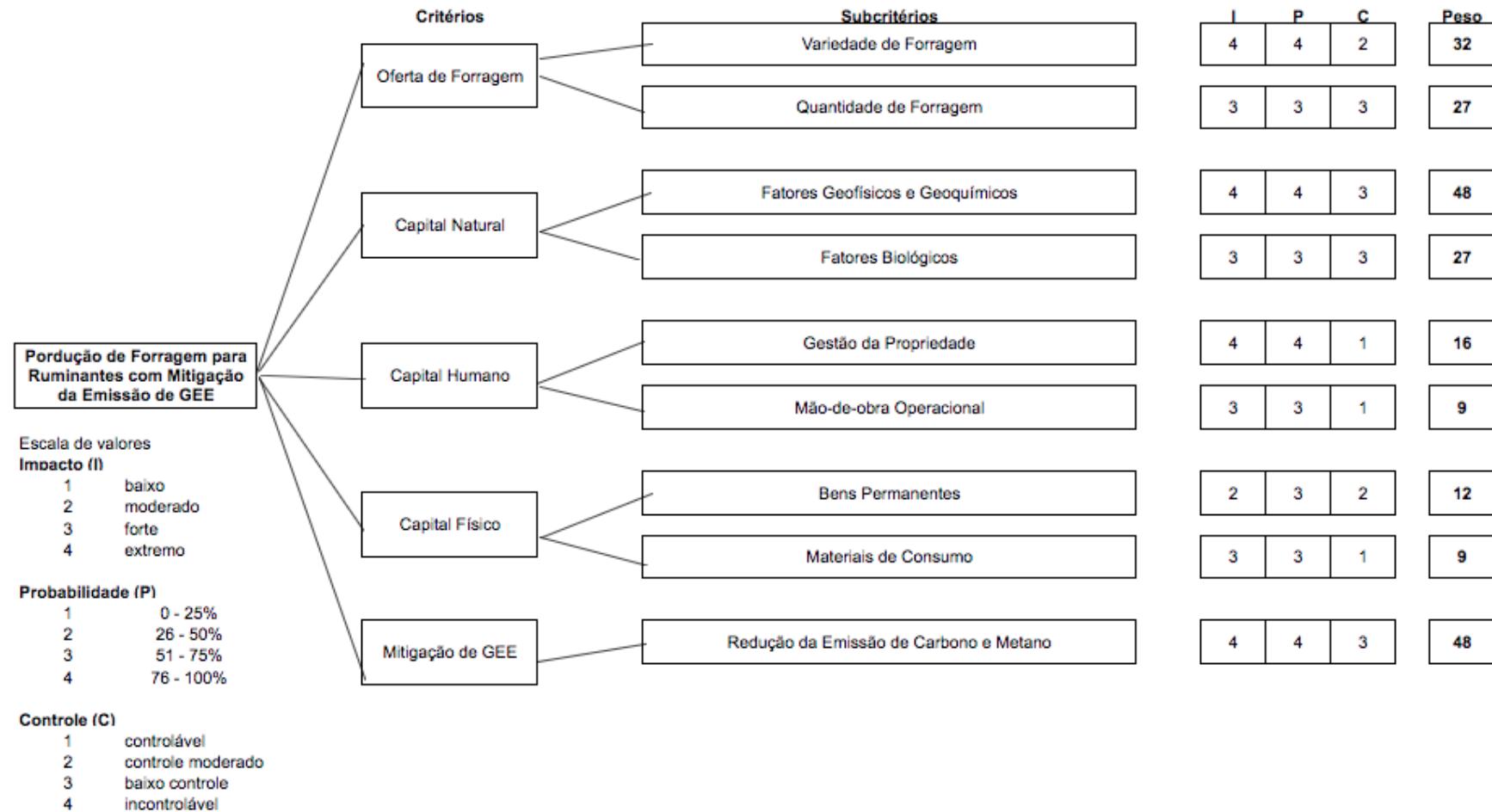
Fonte: de MATTOS *et al.*, 2024a.

A oferta de forragem representou 45% do peso total entre os critérios, seguida por capital natural (27%), capital humano (17%), capital físico (7%) e mitigação da emissão de GEE (4%). O capital natural é o principal fator de produção, pois a produção de forragem está diretamente relacionada à disponibilidade de recursos naturais. Com relação ao capital humano e físico, o primeiro é mais importante, devido à agricultura familiar e à necessidade de assistência técnica para que a TecABC seja bem-sucedida. O capital físico pode apoiar a mão-de-obra operacional, aumentando a produção, mas alguns insumos podem ser adquiridos por meio de cooperativas, por isso têm menor peso. Por fim, o critério de mitigação de GEE refere-se a um refinamento de qual TecABC seria a mais eficiente para mitigar essas emissões.

Com a análise de risco, foi possível estabelecer a contribuição de cada subcritério das três TecABC avaliadas em relação ao Impacto, à Probabilidade e ao Controle (Figura 28).

O critério Oferta de Forragem foi dividido em dois subcritérios: variedade de forragem, com uma importância ligeiramente maior do que a quantidade de forragem,

Figura 28. Em ambos, a ILPF ofereceu a maior oferta de forragem para ruminantes na Caatinga (Tabela 4). Com essa TecABC, diferentes plantas são cultivadas, possibilitando uma forragem selecionada, com questões nutricionais e de digestibilidade combinadas para a obtenção de melhor alimento e concentrado, conforme sugerido por BARBOSA *et al.* (2017). Essa maior diversidade se deve à presença de culturas e florestas, com cactos, leguminosas lenhosas, restos de culturas, milho e gramíneas, *in natura* ou como silagem e feno, conforme mencionado por VINHOLIS *et al.* (2021).



Adaptado de: de MATTOS *et al.* (2024a).

Figura 28- Mapa de decisão da análise de risco.

Tabela 4- Relevância dos critérios e subcritérios em relação a cada TecABC.

	Tecnologia ABC		
	ILPF	MSF	RAD-P
<b>Critérios e Subcritérios</b>			
<b>Oferta de Forragem</b>	<b>63%</b>	<b>27%</b>	<b>10%</b>
<i>Variedade de Forragem</i>	67%	23%	10%
<i>Quantidade de Forragem</i>	57%	33%	10%
<b>Capital Natural</b>	<b>50%</b>	<b>41%</b>	<b>9%</b>
<i>Fatores geofísicos e geoquímicos</i>	63%	28%	9%
<i>Fatores Biológicos</i>	27%	64%	9%
<b>Capital Humano</b>	<b>23%</b>	<b>65%</b>	<b>12%</b>
<i>Gestão da Propriedade</i>	23%	67%	10%
<i>Mão-de-obra Operacional</i>	25%	59%	16%
<b>Capital Física</b>	<b>24%</b>	<b>64%</b>	<b>12%</b>
<i>Bens Permanentes</i>	25%	59%	16%
<i>Materiais de Consumo</i>	24%	70%	6%
<b>Mitigação da Emissão de GEE</b>	<b>68%</b>	<b>20%</b>	<b>12%</b>
<b>Classificação Geral</b>	<b>49%</b>	<b>41%</b>	<b>10%</b>

Fonte: de MATTOS *et al.* (2024a).

A integração dessas plantas, destinadas à alimentação dos animais, é chamada de bancos de forragem. Esse é um importante recurso de feno para os animais durante a estação seca, evitando o sobrepastoreio. O modelo pioneiro foi a integração Caatinga, Capim-buffel e Leguminosas (CBL), desenvolvida pela Embrapa, em áreas experimentais (RANGEL *et al.*, 2020). Outro banco de forragem usual na Caatinga é a palma, que, por ser resistente à seca e fornecer água aos animais, tem grande importância na nutrição dos caprinos (PINHEIRO & NAIR, 2018; SOCOLOWSKI *et al.*, 2021; LIMA *et al.*, 2023). As cactáceas também podem ser integradas a culturas anuais e substituir o milho no concentrado a ser oferecido com forragem, segundo BARBOSA *et al.* (2017).

O MSF tem a segunda maior oferta de forragem porque é feito em uma área de floresta estruturada, com diversidade e quantidade de plantas que podem ser exploradas diretamente. No MSF há mais quantidade de forragem do que variedade (Tabela 4), e essa pode ser aumentada com a técnica de enriquecimento, com o plantio de gramíneas (buffel, capim-elefante,...) e de espécies arbóreas, como as leguminosas nativas da Caatinga: *Mimosa*

*caesalpiniifolia* (sabiá), *Bauhinia cheilantha* (mororó), *Croton conduplicatus* (quebra-faca), ou exóticas (*Leucaena* sp. e *Gliricidia sepium*) (de MATTOS *et al.*, 2024a).

A caatinga é uma fonte de forragem nos três estratos da vegetação, especialmente para alimentar caprinos e ovinos e para resistir às condições climáticas locais (de MATTOS *et al.*, 2024a). Seu manejo é amplamente utilizado na pecuária para aumentar a oferta de forragem por meio da alteração da estrutura e da composição florística, com as técnicas de rebaixamento, raleamento e enriquecimento com plantio de forrageiras para ruminantes, permitindo uma produção sustentável no semiárido, evitando o desmatamento, como também já mencionado anteriormente (ARAÚJO FILHO, 2014). Essas técnicas possibilitam dar feno e silagem ao rebanho quando ele está em confinamento, bem como na estação seca, e vender o excedente (CAVALCANTE *et al.*, 2013).

A RAD-P na Caatinga deve ser feita com uma variedade de plantas nos três estratos e não apenas com capim, como mencionado acima, para produzir uma variedade de forragem ao longo do tempo, pois a área também pode ser destinada a banco de forragem e às culturas anuais durante o pousio (de MATTOS *et al.*, 2024a). No entanto, é necessário um tempo maior para que o solo e a vegetação na RAD-P se estabeleçam, por isso ela teve um peso menor. Assim, a RAD-P pode ter, no início, uma oferta menor de forragem, pois levaria mais tempo para se estabelecer (de MATTOS *et al.*, 2024a). Outra consideração importante sobre o baixo peso da RAD-P, em comparação com o SFM e a ILPF, é que, mesmo considerando essas duas tecnologias também desde a implantação até o seu estabelecimento, de 3 a 5 anos (ARAÚJO FILHO, 2014, GONTIJO NETO *et al.*, 2018), o ambiente em que elas se encontram já era produtivo, e foi apenas ajustado para a implantação da tecnologia, diferentemente da RAD-P, em que o melhoramento do solo necessariamente precisa ser feito. No início da RAD-P, o banco de forragem pode ser priorizado, sem a entrada de animais para que o solo seja descompactado e sua estrutura e nutrientes sejam recuperados e permitam que o banco de sementes cresça e ajude na recuperação da pastagem (de MATTOS *et al.*, 2024a).

Além disso, a ILPF e o MSF podem aumentar a renda dos pequenos produtores devido à diversidade de produtos agrícolas e florestais que podem oferecer (BRASIL, 2012). VINHOLIS *et al.* (2021) identificaram a integração lavoura-pecuária (ILP) como uma forma de garantir a viabilidade econômica e melhorar a qualidade de vida dos pequenos produtores familiares. No MSF, o enriquecimento da Caatinga pode ser alternado com o plantio de culturas alimentares (milho, feijão, mandioca) para cobrir parcialmente os custos e fortalecer a segurança alimentar da família (ARAÚJO FILHO, 2014).

O Capital Natural foi dividido em fatores geofísicos e geoquímicos e fatores biológicos, sendo os primeiros subcritérios mais representativos, Figura 28. Nesse critério, a ILPF apresentou a maior relevância em relação aos fatores abióticos, pois, como é feita em uma área cultivada, o solo já está estruturado e nutrido (IWATA *et al.*, 2021; SIGNOR *et al.*, 2022). A ILPF também pode ser implementada em associação com tecnologias sociais (TS-CSA), como tecnologias de coleta e armazenamento de água, e não apenas ser cultivada em sequeiro, como no MSF. Com relação à conservação do solo, os bancos de forragem e a rotação de pastagem animal na floresta manejada são alternativas para evitar a degradação da Caatinga. Tanto na ILPF quanto no MSF, são necessários piquetes para a rotação do rebanho nas pastagens ou na vegetação da Caatinga, com a adubação natural de seus dejetos, permitindo que as plantas se regenerem, evitando o superpastejo, que tem modificado a composição florística e aumentado a compactação do solo (CAVALCANTE *et al.*, 2013, RATHMANN *et al.*, 2017). Outra estratégia importante para melhorar a fertilidade do solo é o plantio de leguminosas, tanto herbáceas quanto arbóreas, como adubo verde.

Em relação aos fatores biológicos, o MSF tem o maior peso, pois é uma floresta nativa que, mesmo antropizada, tem fluxos ecológicos e serviços ecossistêmicos mais bem estabelecidos do que a ILPF (Tabela 4). É importante destacar que o componente arbóreo na ILPF ajuda a reduzir a perda de solo e água e é relevante para a complexidade ecológica porque as árvores aumentam a matéria orgânica e a recuperação do bioma (TORRES *et al.*, 2020). Assim, a presença de árvores promove a produção sustentável e a biodiversidade, levando a um aumento natural da produtividade (GONTIJO NETO *et al.*, 2018).

Por fim, a RAD-P apresentou peso consideravelmente menor em relação ao Capital Natural, por se tratar de uma área pobre em recursos naturais e, consequentemente, com baixa biodiversidade, aspectos que ainda não serão restabelecidos a ponto de serem mais elevados do que nos outros dois ambientes onde as outras duas TecABC forem implantadas, durante o período considerado (Tabela 4).

O Capital Humano, dividido nos subcritérios gestão da propriedade e mão-de-obra, mostrou que as questões técnicas e de planejamento têm maior representatividade (Figura 28). Uma nova tecnologia produtiva deve ser implementada de forma organizada, com acompanhamento de assistência técnica (SUELA *et al.*, 2023). A mão-de-obra operacional é importante e é considerada o principal fator para mitigação da emissão de carbono na China (SU *et al.*, 2017), mas pode ser adaptada ou substituída pela contratação de trabalhadores extras em épocas específicas ou pelo uso de máquinas e equipamentos. Nesse critério, quanto menor

for a necessidade de mão-de-obra, que envolve tempo e recursos financeiros, maior será o peso de uma TecABC em relação à outra na comparação pareada.

Portanto, o MSF foi a tecnologia com melhor desempenho, tanto em relação à mão-de-obra gerencial quanto operacional (Tabela 4), embora exija mão-de-obra qualificada para operação de maquinário específico. Por outro lado, a ILPF e a RAD-P tiveram percentuais mais baixos, pois ambas necessitam de muito planejamento e assistência técnica, bem como de mais mão-de-obra operacional para os cuidados com o solo, as lavouras, as mudas e a colheita. No entanto, a RAD-P teve um peso menor do que a ILPF devido ao maior cuidado com o preparo da terra, a reestruturação do solo, o plantio e o monitoramento do desenvolvimento das mudas.

Em relação ao Capital Físico, o subcritério bens permanentes teve um peso maior do que os materiais de consumo (Figura 28) e, como estão relacionados a despesas, seguiram o mesmo critério do Capital Humano: quanto menor a necessidade, maior o peso da TecABC no pareamento. O MSF apresentou o melhor desempenho porque, embora precise cercar a área e usar maquinário específico, os custos de materiais e bens para preparação da terra e plantio na ILPF e na RAD-P são mais altos.

Em relação aos materiais de consumo, o MSF teve um desempenho ainda melhor do que as outras TecABC, porque precisa de menos insumos, necessários apenas para a técnica de enriquecimento, usando mudas, sementes e fertilização fosfatada, se necessário. A ILPF aparece em segundo lugar, pois tem uma demanda menor do que a RAD-P, que requer mais insumos para recuperar o solo e a vegetação, enquanto a ILPF gera seus insumos devido à integração (Tabela 4). Deve-se observar que, embora a ILPF e a RAD-P exijam pessoal e suporte técnico adicionais para sua implementação, o uso de mão-de-obra, maquinário e insumos externos diminui com o tempo, de acordo com VINHOLIS *et al.* (2021).

O Capital Físico foi estimado em 1 hectare de Caatinga para cada TecABC, e os valores variaram consideravelmente dentro de uma mesma tecnologia, devido aos diversos arranjos possíveis, especialmente na ILPF, que foi analisada com um valor estimado intermediário. E, embora o Capital Físico tenha sido menos importante que os outros fatores na classificação, sua importância se deve às limitações financeiras dos pequenos produtores familiares e à burocracia para acesso ao crédito (SANTOS *et al.*, 2023).

Finalmente, em relação à mitigação das emissões de GEE, a ILPF mostrou um potencial de mitigação estimado significativamente maior devido ao gado em confinamento, o que reduz o metano entérico emitido, segundo RATHMANN *et al.* (2017). Esses autores também recomendaram a redução do tamanho do rebanho e a antecipação do abate, para um rebanho de vida mais curta e, portanto, com menos emissões de metano entérico. Com MSF e RAD-P,

a criação semiextensiva também poderia ser possível, mas não é tradicionalmente comum e seria mais difícil de implementar.

Já a diversidade da forragem oferecida, com o objetivo de fornecer mais nutrientes, maior digestibilidade e menor emissão de metano, pode ser obtida na criação semiextensiva, que aproveita a pastagem natural do bioma, com os animais em confinamento nos períodos de seca e de regeneração da vegetação, quando são alimentados com feno, silagem ou ração (CAVALCANTE *et al.*, 2013; SIGNOR *et al.*, 2022), favorecendo também o manejo de resíduos, que pode ser feito em um ILPF.

O MSF apresentou um potencial de mitigação de emissões de GEE ligeiramente maior do que a RAD-P (Tabela 4), pois ambos reduzem o desmatamento, mas o MSF é aplicado em uma vegetação nativa que minimiza a emissão de metano entérico dos alimentos fornecidos com essa tecnologia. Isso ocorre porque o tanino, presente na vegetação da Caatinga, inibe a metanogênese e as leguminosas lenhosas têm alta digestibilidade para o ruminante; portanto, sua ingestão gera menos metano ruminal e melhora a produtividade animal (EUGÈNE *et al.*, 2021). Isso também é válido para a ILPF, que tem plantas ricas em tanino e, além disso, tem outras espécies que contribuem para uma dieta equilibrada para os animais ruminantes.

De fato, de acordo com especialistas, o MSF reduziu o desmatamento e as queimadas, contribuindo para a manutenção do carbono no ecossistema. No entanto, em algumas regiões do semiárido, ainda há muitos pequenos produtores que suprimem as árvores nativas para plantar lavouras ou monocultura de capim. Outros ainda usam o fogo para limpar a terra, o que desestrutura o solo, reduz a quantidade de matéria orgânica, aumenta as emissões de CO<sub>2</sub> e diminui a taxa de regeneração da vegetação (IWATA *et al.*, 2021). Nas localidades em que essas práticas degradantes ainda estão enraizadas, torna-se mais difícil convencer os pequenos produtores familiares a implementar uma TecABC ou a produzir de forma sustentável (SILVA *et al.*, 2020). Por outro lado, onde predomina a caprinocultura, o desmatamento não ocorre na mesma proporção, pois se acredita que os animais estão acostumados a pastar na Caatinga e são mais resistentes à seca (MILHORANCE *et al.*, 2022). Mas o rebanho caprino precisa ser manejado de forma ambientalmente sustentável, como a manutenção de 400 a 800 árvores/ha, recomendada em um MSF, como as leguminosas: *Caesalpinia bracteosa* (catingueira), *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) e *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta), que têm alto teor de proteína, servem de sombra e fornecem nitrogênio ao solo (ARAÚJO FILHO, 2014; MILHORANCE *et al.*, 2022).

Entre as metas da NDC brasileira estão a redução de 40% do desmatamento no país, a recuperação da vegetação nativa até 2030 e o aumento do estoque de carbono no solo por meio

da expansão de sistemas integrados e da recuperação de pastagens degradadas (RATHMANN *et al.*, 2017). Embora, de acordo com SIGNOR *et al.* (2022), a Caatinga emita menos GEE do que outros biomas, ela é, por suas características, um bioma-chave nas metas de redução do desmatamento e da desertificação, exigindo investimentos para a implementação de projetos com agricultura regenerativa e conservacionista.

Neste estudo, o potencial de mitigação de emissões de GEE das TecABC ( $\text{MtCO}_2\text{e}$ ) foi estimado com base no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) no relatório “Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no acordo de Paris” (RATHMANN *et al.*, 2017). As informações utilizadas estão relacionadas ao potencial de mitigação dos setores de agricultura e mudança de uso da terra (AFOLU), cujos tópicos foram correlacionados com as TecABC aqui utilizadas.

Pelo exposto, a ILPF aparece como a melhor alternativa para produzir forragem para ruminantes na Caatinga e, ao mesmo tempo, mitigar as emissões de GEE (Tabela 4) (de MATTOS *et al.*, 2024a), além de ser uma tecnologia guarda-chuva, pois incorpora outras TecABC, como FBN e SPD. O MSF vem em segundo lugar, devido à forragem fornecida por uma floresta estabelecida, e a RAD-P vem em terceiro lugar, devido ao investimento e aos insumos necessários para restabelecer a área e às incertezas do tempo de retorno e do sucesso de sua recuperação (de MATTOS *et al.*, 2024a). Segundo SHAJEDUL (2021), os sistemas integrados também são considerados a melhor alternativa para uma agricultura sustentável, assim como também SPD, manejo do solo e diversificação das culturas.

Para atenuar as ameaças das mudanças climáticas, melhorar a qualidade de vida e a produção do rebanho no semiárido, medidas adaptativas como: criação de corredores de vegetação para o pastoreio e melhorar a ventilação dos estábulos e criadouros, são estratégias recomendadas e estão em consonância com a proposta da ILPF (KALKAVAN, 2017; PHUONG *et al.*, 2018; KALHAPURE *et al.*, 2019; VIDIGAL *et al.*, 2019). De fato, com a implantação de ILPF podem-se criar corredores para o rebanho, proporcionando maior conforto climático e opções de pastagem nos três estratos com o fortalecimento do pastoreio e da agricultura, numa sinergia positiva, de forma a aumentar a produtividade animal numa mesma área, evitando a expansão em novas áreas de vegetação nativa (LASCO *et al.*, 2014; KALKAVAN, 2017; GARCIA *et al.*, 2023).

Com a RAD-P, ao tornar produtiva uma área mal utilizada, o pequeno produtor terá, além do retorno econômico, benefícios ecológicos: restauração dos fluxos de água e sequestro de carbono na vegetação, evitando o desmatamento (MALHI *et al.*, 2021), principalmente quando é feito com espécies arbóreas e arbustivas. Uma dificuldade na implementação dessa

tecnologia é convencer os pequenos produtores de bovinos a plantar árvores e arbustos, já que eles tradicionalmente criam seus animais com pastagens de capim, mesmo que um pasto de monocultura de capim não seja resiliente a um clima semiárido. Um incentivo seria apontar que a restauração florestal não seria um ônus, mas sim um bônus para eles (MICCOLIS *et al.*, 2019). Portanto, é necessária assistência técnica para demonstrar que o cultivo consorciado proporciona pastagens biodiversas mais resistentes às adversidades climáticas e que melhoram o solo (SOCOLOWSKI *et al.*, 2021). E que a melhor maneira de recuperar uma área degradada para pastagem ou banco de forragem na Caatinga é com o ILPF.

Por fim, é importante ressaltar que a falta de assistência técnica, linhas de crédito e políticas públicas tende a estimular a difusão do conhecimento empírico, em que o pequeno produtor pode mudar seu modo de produção dentro de suas limitações financeiras (NASUTI *et al.*, 2013). Uma estratégia é diversificar a renda com novos produtos e benefícios proporcionados pela ILPF; no entanto, é necessário e urgente investir em assistência técnica qualificada para a implantação das TecABC (de MATTOS *et al.*, 2024a).

Mas, antes disso, é necessário oferecer treinamento para qualificar técnicos e pequenos produtores familiares para uma implementação correta e bem-sucedida da tecnologia ABC, seu desenvolvimento e consolidação, conforme realizado pelo PRS Caatinga (CIANCIO *et al.*, 2024). Uma forma importante de estimular a adoção e a consolidação da TecABC é sua inclusão nos mercados local e nacional, integrando-a aos arranjos produtivos locais (de MATTOS *et al.*, 2024a).

## 6.5. TecABC e outras vertentes de agricultura sustentável

Segundo a linha de agricultura sustentável das Tecnologias ABC, para promover a conservação dos recursos naturais e melhoria dos serviços ambientais, existem diversos conceitos em voga, como *Carbon Farming* (MATTILA *et al.*, 2022) e Agricultura Conservacionista. Sendo que esta última promove economia de recursos e conservação ambiental, é uma técnica de manejo do solo que tem como objetivo melhorar sua estrutura e reduzir sua degradação, favorecendo a restauração natural com o aumento de nutrientes e umidade para minimizar os efeitos das secas, aumentando sua produtividade diminuindo também os custos na produção agrícola (GHOSH *et al.*, 2015; MULIMBI *et al.*, 2019). Para atingir estes resultados, essa agricultura baseia-se em três práticas, que se misturam com as TecABC, especificamente SPD e ILPF: (i) mínimo de distúrbio mecânico no solo; (ii) manutenção da cobertura de matéria orgânica sobre o solo (funciona também como adubo) e

(iii) fazer diversificação, consórcio e rotação de culturas com uso de leguminosas (GHOSH *et al.*, 2015; KASSAM *et al.*, 2017).

Os benefícios da Agricultura Conservacionista são também de longo prazo, com medidas eficientes em resposta às mudanças climáticas e à vulnerabilidade dos agricultores, por reduzir as emissões de GEE e colaborar com os serviços ecossistêmicos (GHOSH *et al.*, 2015). Ainda, pode proporcionar a pequenos agricultores um aumento de renda e de segurança alimentar (MULIMBI *et al.*, 2019).

A Agricultura Orgânica é também uma importante forma de agricultura sustentável e bastante difundida que visa equilibrar as demandas de segurança alimentar e sustentabilidade ambiental (BOSCO *et al.*, 2019). Possui práticas semelhantes às da agricultura conservacionista, embora seu cultivo implique em frequentes distúrbios no solo para manejo e uso de fertilizantes orgânicos (BOSCO *et al.*, 2019), havendo, portanto, emissões de N<sub>2</sub>O do solo. Assim, a Agricultura Regenerativa, resgata a ancestralidade para as práticas atuais, com foco na recuperação do solo, utilizando técnicas orgânicas e diminuição de insumos sintéticos, de modo a melhorar as condições ambientais e diminuir os gastos do produtor (NEWTON *et al.*, 2020; MACHADO & RHODEN, 2021).

Outro conceito de sustentabilidade em ascensão são as Soluções Baseadas na Natureza (SBN), usadas em diversos setores, principalmente no ambiente urbano, é uma abordagem mais amplo que pode acabar por englobar as TecABC, por avaliar uma paisagem integrada, baseada na gestão de um território (FRAGA & SAYAGO, 2020; MARQUES *et al.*, 2021).

## CAPÍTULO 7: Análise do Projeto Rural Sustentável (PRS) Caatinga

O Capítulo traz elementos sobre a implantação das TecABC na Caatinga, considerando as ações do PRS Caatinga, voltados para o desenvolvimento da agricultura familiar e aumento da renda de pequenos produtores. O Projeto foi abordado em três etapas sequenciais, o que proporcionou o alcance das metas estabelecidas e cumpriu todas as iniciativas previstas (Quadro 16). A partir dos resultados obtidos pelo Projeto, foi feita uma análise, onde foram consideradas as principais ações desenvolvidas e verificados se os objetivos de reduzir a emissão e a pobreza foram atingidos. Também foi feita uma análise sobre as metas alcançadas por meio das atividades realizadas durante a execução do projeto. Dentre as principais ações, estão: a capacitação sobre as TecABC para técnicos e agricultores; o uso integrado das TecABC com as TS-CSA e o fortalecimento das atividades de ATER e do cooperativismo, por meio dos arranjos produtivos locais (APL) e da bioeconomia.

O conteúdo deste capítulo foi publicado, em parte, num artigo científico na Revista Nativa, e foi mencionado ao longo do texto, como: de MATTOS *et al.*, 2024b.

Quadro 16- Componentes do PRS Caatinga e suas ações.

<b>Componente 1 - Produção e disseminação de conhecimento, por meio de nove estudos:</b>	<b>Componente 2 -</b> Fortalecimento de capacidades locais das estruturas produtivas da agricultura familiar, com os objetivos de:	<b>Componente 3 - Constituição de Legado em articulação com a sociedade, com investimentos em:</b>
1. Panorama dos municípios prioritários (TAVARES <i>et al.</i> , 2020a); 2. Tecnologias Agrícolas de Baixa Emissão de Carbono no Brasil e no Bioma Caatinga (TAVARES <i>et al.</i> , 2020b); 3. Panorama Institucional Socioambiental para Caatinga (MUCCILLO, 2020); 4. Mapeamento de Fontes Institucionais sobre Tecnologias Sociais na Caatinga (GUALDANI & BURGOS, 2020); 5. Mapeamento de Recursos Financeiros para	Consolidar as capacidades dos serviços de ATER;  Promover capacidades e assistência técnica para pequenos e médios produtores rurais;  Apoiar as organizações pequenas de pequenos e médios produtores rurais na aquisição de bens coletivos;  Oferecer informação sobre financiamento orientado para adoção de TecABC e outras práticas sustentáveis.	Consolidação das TecABC na Caatinga;  Iniciativas de restauração de áreas degradadas e conservação da vegetação nativa;  Criação de fundo financeiro para apoiar estudos, iniciativas e programas orientados ao desenvolvimento sustentável na Caatinga, com foco na promoção de TecABC.  Ações para o fortalecimento do cooperativismo e da sociobioeconomia regional,

<p>Agricultura de Baixo Carbono (MILHORANCE, 2020);</p> <p>6. Estudos sobre Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) para TecABC no Semiárido (ALBAGLI &amp; LEITÃO, 2020);</p> <p>7. Análise Transversal de Tecnologias de Agricultura de Baixo Carbono, Tecnologias Sociais, Assistência Técnica, Extensão Rural e Financiamento da Agricultura de Baixo Carbono na Caatinga (TAVARES <i>et al.</i>, 2020c);</p> <p>8. Mapeamento de Cadeias Produtivas nas Microrregiões Prioritárias do PRS Caatinga (SANCHES &amp; FRANÇA, 2020); e</p> <p>9. Mapeamento de Uso do Solo e Hidrografia (MUSH) (REZENDE &amp; FBDS, 2019).</p>		<p>de forma a promover e ampliar o acesso ao mercado para os produtos agrícolas resultantes do uso das TecABC.</p>
--	--	--

Fonte: Elaboração Própria (PRS CAATINGA, 2024 e CIANCIO *et al.*, 2024).

## 7.1. Mapa Mental: metas e ações do PRS Caatinga

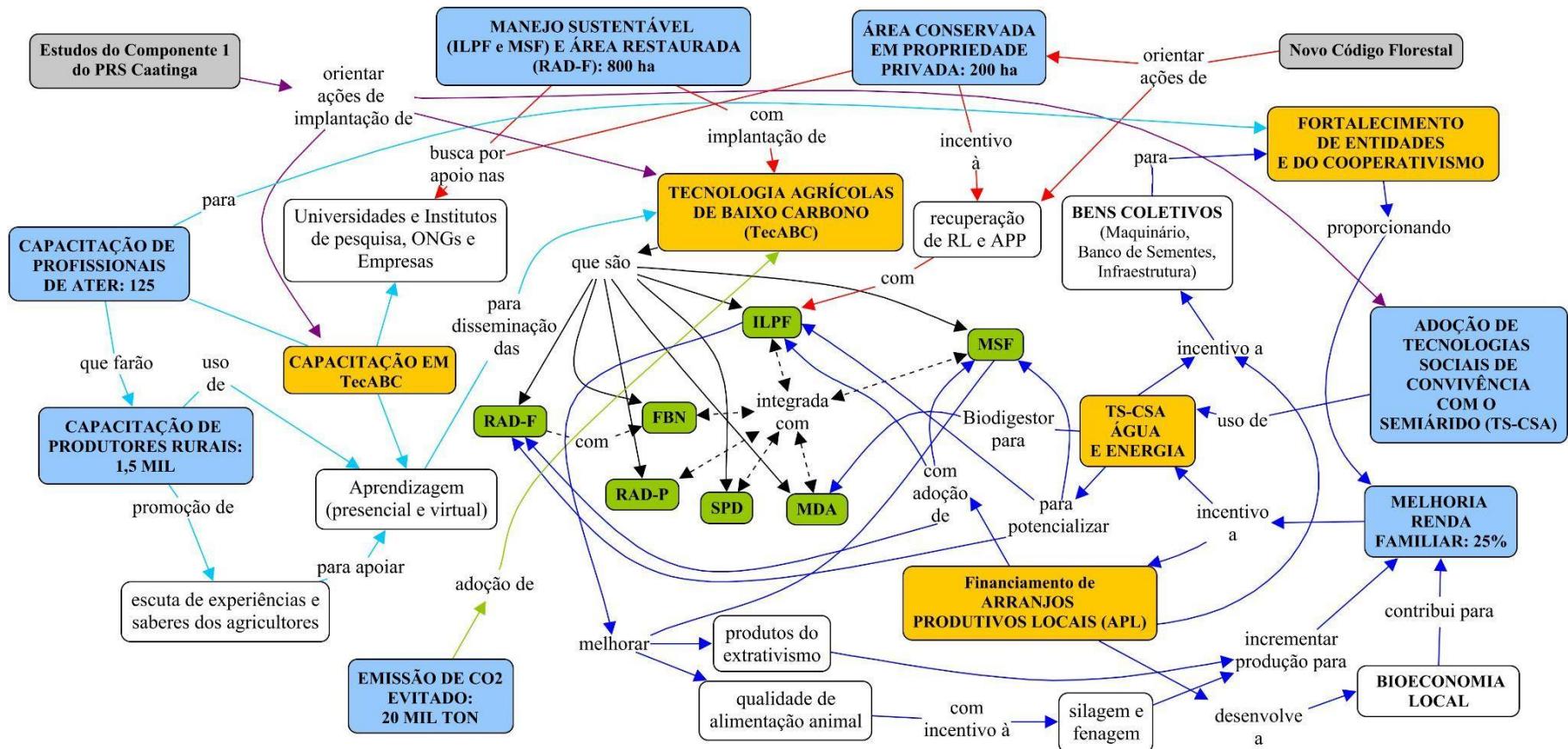
Como forma de direcionar as ações do PRS Caatinga, a análise dos estudos realizados no Componente 1 foi estruturada, junto com as metas e ações do Projeto, em um mapa mental que ilustra as relações entre as TecABC e as estratégias utilizadas no planejamento para sua implantação.

A leitura da Figura 29, mapa mental, é iniciada pelas metas, representadas na figura pelas caixas azuis; as duas no alto referem-se às metas das áreas de conservação, manejo e restauração e são conectadas às ações e estratégias por linhas vermelhas. As metas de adoção de TS-CSA e melhoria de renda, à direita, são conectadas por linhas azuis marinhas às respectivas ações. Há, ainda, um destaque para a importância dessas tecnologias no Nexus (caixa laranja). Para o alcance da melhoria de renda ficou estabelecida a necessidade de se trabalhar com o incentivo aos APL e com o fortalecimento do cooperativismo, abordados adiante.

No lado esquerdo, estão as metas de capacitação, que se referem à formação dos profissionais de ATER, responsáveis por difundir as TecABC aos produtores rurais, conectadas com suas estratégias pela linha azul clara. E, logo abaixo, há a meta de evitar a emissão de CO<sub>2</sub>, a ser atingida por meio da adoção das TecABC e seguida do monitoramento da emissão de GEE por meio dos indicadores-chave do projeto (do inglês *Key Products Indicator*, KPI).

Ao centro da Figura 29, estão as TecABC, caixas verdes, conectadas por linhas pretas. Quanto às duas caixas cinzas no alto, nos extremos da figura, representam os documentos de apoio para guiar as ações e estratégias para se atingir as metas. Dentre as políticas públicas existentes, o Novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) (BRASIL, 2012b) tem grande importância para incentivar a mitigação da emissão de GEE no setor agropecuário. Nele, são definidas normas para a agricultura familiar, para a proteção da vegetação nativa, em Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL) e Área de Uso Restrito (AUR), para a exploração florestal e para o controle e prevenção de incêndios florestais (BRASIL, 2012b). Em pequenas propriedades familiares, é permitida a recuperação de RL e APPs com sistemas agroflorestais usando espécies nativas, portanto, é uma boa oportunidade para o pequeno produtor implementar ILPF (Figura 29).

Finalmente, nas caixas amarelas estão as ações promovidas pelo Projeto, que serão detalhadas a seguir. Após o detalhamento, será apresentada uma síntese dos resultados alcançados pelo Projeto.



Fonte: de MATTOS *et al.*, 2024b.

Figura 29- Mapa mental com metas e estratégias para implantação das TecABC. Nota: Caixas azuis: metas do PRS Caatinga; caixas amarelas: as ações; caixas cinza: documentos de apoio; caixas verdes: as TecABC; caixas brancas: meios e sem caixa: os elos. As cores das setas indicam as conexões de cada grupo de meta.

## **7.2. Fortalecimento de Arranjos Produtivos Locais (APL) e do Cooperativismo**

A escolha das entidades parceiras a serem apoiadas, para fortalecimento dos APL, com a utilização das TecABC, foi feita, considerando: a afinidade ao tema, trabalho prévio com agroecologia e implantação de sistemas agroflorestais e/ou TS-CSA.

A parceria do PRS Caatinga com as 20 entidades participantes, responsáveis pelos APL, alcançou 1.505 famílias de pequenos agricultores familiares, que puderam aprimorar seus conhecimentos em agroecologia e receberam assistência técnica para produzir de maneira mais sustentável, melhorando a qualidade do solo, a segurança alimentar e hídrica, promovendo o desenvolvimento socioeconômico local e fortalecendo o cooperativismo. A rede estabelecida pode compartilhar a experiência com outras comunidades, municípios e estados, promovendo a criatividade e o desenvolvimento de soluções mais eficazes para a agricultura local (CIANCIO *et al.*, 2024).

A estratégia de fortalecer o cooperativismo se mostrou eficiente para o desenvolvimento da produção regional, dando mais visibilidade e aumentando o mercado para os produtos da agricultura familiar (de MATTOS *et al.*, 2024b). Ação semelhante foi feita pelo Projeto Bem Diverso ao incentivar a estruturação do extrativismo de frutos nativos em cooperativas do sertão baiano (SEVILHA *et al.*, 2021).

A vocação econômica regional foi o ponto de partida para cada APL, onde cada entidade criou o seu próprio arranjo agroflorestal (croqui), com a definição das espécies e distribuição de espaços adequados, para não haver competição por recursos. Os produtores parceiros inseridos em cada APL replicavam as boas práticas sustentáveis, com o apoio da ATER disponibilizada pelo PRS Caatinga (BARRETO, 2024). Vale ressaltar que cada técnico ficou responsável por um número pequeno de famílias (até 30 famílias) para garantir visitas regulares e monitoramento atencioso.

Os principais APL das regiões de atuação do Projeto, reestruturados com as TecABC, foram: Caprinovinocultura (leite e corte), Bovinocultura, Apicultura, Hortifruticultura, Licuri e Agrossilvicultura. O fortalecimento do APL incentiva a pluriatividade dos produtores e a adaptação às mudanças climáticas. Desta forma, a propriedade estaria inserida em diversas cadeias produtivas e ativa o ano todo, inclusive durante o período de seca (de MATTOS *et al.*, 2024b).

Cada APL teve seu plano de trabalho próprio e de acordo com as demandas apresentadas, o PRS Caatinga doou insumos às entidades, desde sementes e mudas a maquinários de pequeno porte, como tratores e roçadeiras, num valor em torno de 100 – 140 mil dólares para cada uma das 20 entidades (BARRETO, 2024; CIANCIO *et al.*, 2019).

A caprinovinocultura predominou nos cinco estados, recuperando áreas degradadas com ILPF e aumentando a disponibilidade de alimentos para os ruminantes, conforme previsto no estudo de TAVARES *et al.* (2020b). De fato, a maioria dos pequenos produtores da Caatinga tem essa atividade tanto para subsistência como para o comércio local.

A cadeia de hortifruticultura, tanto para consumo próprio quanto para comercialização, esteve presente entre os produtores de todos os estados e a dificuldade para implantação da ILPF e para organizar esse mercado foi fortalecida pelo PRS Caatinga, corroborando as afirmações de ALBAGLI & LEITÃO (2020). A região de Monte Santo, na Bahia, se destaca com a produção do Licuri, uma oleaginosa presente em suas terras e que vem ganhando escala comercial rapidamente, desde a alimentação dos rebanhos até a fabricação de alimentos, como azeites, sorvetes e cervejas e, recentemente, vem sendo utilizada para fabricação de cosméticos.

O Piauí serviu como um polo para implantação de ILPF para a apicultura, devido à experiência prévia com agroflorestas, que já representava 38% de arranjos agroflorestais frente ao cultivo convencional (TAVARES *et al.*, 2020a) e, consequentemente, contribuiu para uma maior conservação de suas áreas naturais, conforme apresentado por TAVARES *et al.* (2020b). A criação de pastos apícolas pelas ações do PRS Caatinga, com espécies diferentes daquelas encontradas nas áreas de conservação, reforçou a aptidão regional, permitindo a manutenção das abelhas nos locais o ano todo, graças ao cultivo de espécies que florescem em épocas diferentes. Os demais estados também possuem atividades apícolas, porém com menor relevância dentro do Projeto. Uma grande inovação do PRS Caatinga aconteceu no município de Vera Mendes, no Piauí, onde foi criada a Cooperativa de Pequenos Produtores de Vera Mendes (COOPVM), com a sua própria Casa do Mel. O município de Bela Vista do Piauí também inaugurou uma casa de mel na Associação Carnaíbas.

### **7.3. Atividades realizadas**

Como grande parte dos produtores têm baixa disponibilidade financeira para realizar investimentos altos e de longo prazo, o cooperativismo torna-se a forma mais eficiente de desenvolver a bioeconomia na região, corroborando com MAIA *et al.* (2018). A adoção de melhores práticas agrícolas e de novas tecnologias como a ILPF, diversificação da produção,

bem como acesso a insumos a preços acessíveis fortaleceu a bioeconomia, conforme destacado por NEVES *et al.* (2021). Como também destacado por XIONG *et al.*, 2016, a implantação de uma agricultura de baixo carbono é a melhor estratégia para desenvolver a economia local e enfrentar as mudanças climáticas.

Nesse sentido, o PRS Caatinga apoiou sete entidades em maturidade comercial de seus produtos, por meio do desenvolvimento de planos de gestão e capacitação. Com o apoio ao desenvolvimento da bioeconomia local e inserção das TecABC criam-se oportunidades de acesso a mercados mais exigentes, que buscam produtos certificados por região geográfica, agricultura regenerativa e por carbono neutro (CIANCIO *et al.*, 2024). SEVILHA *et al.* (2021), haviam ressaltado outras iniciativas da sociobiodiversidade na Caatinga que agregam valor aos produtos fornecidos pelos agroextrativistas, por conservarem, manejarem e restaurarem os agroecossistemas onde os sistemas produtivos estão inseridos.

De fato, há muitos benefícios econômicos advindos das TecABC para os APL, como o desenvolvimento da economia regional, o aumento de produtividade de forma resiliente; a diminuição da pobreza, a mitigação da emissão de GEE e a redução do desmatamento.

#### **7.4. Acompanhamento da Implantação das TecABC na Caatinga**

Para acompanhamento da implantação das TecABC durante o PRS Caatinga, foram utilizadas ferramentas desenvolvidas pela equipe de consultores da Adapta Consultoria e Serviços LTDA, juntamente com a Unidade gestora do Projeto (UGP), projetadas para avaliar o impacto das ações de fortalecimento da agricultura regenerativa com foco em práticas de resiliência climática e TecABC. As ações do Projeto foram avaliadas sob as 3 perspectivas do desenvolvimento sustentável (social, econômica e ambiental) de forma sistêmica e estruturada, envolvendo diferentes etapas e instrumentos de avaliação.

O Diagnóstico Socioeconômico foi a primeira ferramenta aplicada para avaliação detalhada das condições sociais e econômicas das propriedades parceiras do Projeto, para conhecimento do contexto em que as TecABC estavam sendo introduzidas. A avaliação feita antes e depois da implantação das tecnologias considerou fatores como a renda das famílias, a disponibilidade de mão-de-obra, a infraestrutura local, o acesso a serviços básicos, a situação das propriedades agrícolas e identificar as atividades produtivas (BARRETO, 2024; de MATTOS *et al.*, 2024b).

A segunda ferramenta, chamada de Nota de Regeneração, serviu para avaliar o solo da propriedade, comparando se a implantação da TecABC teve influência positiva. Esse indicador

também serviu também para verificar se as TecABC estavam sendo aplicadas pelos produtores e de que forma. Um não uso ou um modo errado de aplicação resultava numa nota menor, indicando a necessidade de melhorias. No final da avaliação, o produtor recebia uma pontuação que variava entre de 0 a 100%, indicando a falta de uso (0%) ou o uso integral de todos os princípios relacionados a um manejo adequado do solo (BARRETO, 2024).

A aplicação da Nota de Regeneração, além de analisar os sistemas produtivos, permitiu avaliar os impactos ambientais positivos das TecABC (Quadro 17) e contribuir para a melhoria da resiliência dos ecossistemas locais, a conservação da biodiversidade e a redução das emissões de carbono na Caatinga. Essa ferramenta qualitativa, de baixo custo, permite monitorar a regeneração da fertilidade do solo e o progresso na implementação de práticas de agricultura regenerativa, indicando de forma semiquantitativa como o solo está sendo melhorado para viabilizar e acelerar o processo de incorporação do carbono (de MATTOS *et al.*, 2024b).

Quadro 17- Impactos ambientais nas áreas com as TecABC após 10 meses de implantação.

- Aumento de cerca de 30% no uso de cobertura morta para proteção do solo;
- Aumento de 17% da utilização de plantas de cobertura na entressafra da cultura principal;
- Redução da erosão em 30% das propriedades;
- Aumento expressivo de 14% para 67% na adoção de plantio em curva de nível;
- 99% dos produtores não usam herbicidas em suas áreas agrícolas;
- Não há utilização de pesticidas e/ou fungicidas nos produtores parceiros do PRS Caatinga;
- Aumento expressivo de produtores que fizeram análises de solo, passando de 13% para 87%;
- Aumento de 40% no número de produtores que utilizam a adubação orgânica;
- Aumento de 30% no número de produtores que utilizam consórcios de plantas em suas áreas;
- Aumento de 19% no número de produtores que mantêm um componente arbóreo no sistema;
- Aumento de 24% na poda do componente arbóreo;
- Aumento de 12% no número de produtores que fazem sucessão de espécies no sistema;
- Aumento de 32% no número de produtores que utilizam leguminosas para recuperação de áreas degradadas;
- Aumento de 33% para 64% no número de produtores que utilizam árvores forrageiras em seus pastos;
- Aumento de 20% no número de produtores que passaram a utilizar espécies arbóreas como quebra-ventos para reduzir o impacto dos ventos e melhorar a eficiência hídrica com o aumento de retenção de umidade no solo.

Adaptado de: CIANCIO *et al.*, 2024.

Essa abordagem sequencial no início e no final do Projeto, permitiu conhecer o engajamento dos produtores na adoção das TecABC, como também possibilitou uma avaliação

do impacto positivo dessas tecnologias nas propriedades, consolidando uma visão holística do sucesso das TecABC nas comunidades rurais da região.

## 7.5. PRS Caatinga em números

A implantação das TecABC (ILPF, MSF e RAD) na Caatinga é o principal legado do PRS Caatinga para o bioma. Ao final do Projeto, foram alcançadas 856 ha de áreas com ILPF e RAD, das 800 ha inicialmente previstas (Tabela 5). Para as áreas conservadas em propriedades rurais, eram previstos 200 ha, porém o mapeamento dessas áreas apresentou um total de 11.753 ha, que sofreram influência do projeto por estarem nos limites geográficos dos 31 municípios e em propriedades privadas.

Foram capacitados, pelo PRS Caatinga, em parceria com a UNIVASF, 700 técnicos agrícolas e, destes, 48 atuaram diretamente em ações do Projeto, de modo que essa troca de saberes e geração de conhecimento sobre TecABC pudessem ser difundidos tanto entre os produtores quanto a ATER, fortalecendo assim, a agricultura regenerativa de baixo carbono no bioma.

O PRS Caatinga, ainda, promoveu a implantação de 48 TS-CSA relacionadas à captação e armazenamento de água e 99 unidades energéticas, entre biodigestores e fogões agroecológicos (CIANCIO et al., 2024); relembrando que as TS-CSA relacionadas à água potencializam a TecABC aumentando as chances de sucesso.

Tabela 5– Metas do PRS Caatinga e resultados alcançados com a implantação das TecABC.

Metas	Estimada (2019)	Resultados alcançados (2023)
Famílias agrícolas cadastradas	1.500	1.505
Profissionais ATER capacitados em TecABC	125	700
ILPF e RAD	800 ha	856 ha
Área conservada em propriedades privadas	200 ha	11.753 ha
Toneladas de CO <sub>2</sub> evitadas	20.000	1.196.000 (total) 114.744,71 (em 856 ha)
TS-CSA de Água implementadas	12	48
TS-CSA de Energia implementadas	5	99
Desmatamento evitado	-	244,16 ha

Adaptada de: CIANCIO et al., 2024.

As 20 entidades dos APL foram responsáveis pela mobilização das 1.505 famílias, mais de 5 mil pessoas, com equidade de gênero (Quadro 18). No total, o Projeto implementou 1.331

Unidades Multiplicadoras (UM) de TecABC e 161 Unidades Demonstrativas (UD), sendo uma coletiva com 13 famílias.

Quadro 18– Perfil das famílias produtoras na Caatinga envolvidas no Projeto.

<b>5.072 pessoas envolvidas no Projeto</b>	
2.511 mulheres	2.561 homens
75 % são casados ou com união estável	94 % residem na própria propriedade
79 % possuem energia elétrica	64 % possuem acesso à internet
20 % possuem Ensino Médio completo	39,5 % possuem Ensino Fundamental incompleto
11 % participam de cooperativas	76 % participam de alguma associação
71 % têm a propriedade familiar como principal fonte de renda	85 % são católicos

Adaptada de: CIANCIO *et al.*, 2024.

O Projeto evitou um desmatamento de 244,16 ha nas propriedades, com a sua presença. A meta de emissão de dióxido de carbono evitada (20.000 toneladas de CO<sub>2</sub>) foi amplamente ultrapassada com as ações o PRS Caatinga atingindo 1.196.000 toneladas de CO<sub>2</sub>, considerando as áreas de vegetação natural da Caatinga mantida em pé e os 856 ha de área agrícola onde as TecABC foram implantadas (CIANCIO *et al.*, 2024).

As intervenções do PRS Caatinga estão associadas a mais de 29.000 t CO<sub>2</sub> de emissões evitadas nas UD e mais de 85.000 t CO<sub>2</sub> de emissões evitadas nas UM, totalizando, portanto, 114.744,71 t CO<sub>2</sub> evitadas em áreas agrícolas implantadas pelo Projeto (CIANCIO *et al.*, 2024; de MATTOS *et al.*, 2024b).

As emissões de carbono evitadas em áreas de implantação de TecABC, o desmatamento evitado e serviços ecossistêmicos para locais de atuação do Projeto são inéditos em propriedades privadas da Caatinga e foram calculados por pesquisadores da Embrapa Semiárido e Embrapa Agrossilvipastoril que prestaram consultoria ao PRS Caatinga. Isso representa um imenso passo para o bioma, que até então contava com poucas informações científicas coletadas diretamente no campo. Com esse dado em mãos é possível facilitar a busca das entidades para acesso a fundos e financiamentos voltados à adaptação e mitigação das mudanças climáticas (de MATTOS *et al.*, 2024b).

Como se pôde observar o PRS Caatinga teve grande êxito ao implantar com sucesso as TecABC na Caatinga e atingir suas metas e até ultrapassar, em muito, algumas delas. Entretanto, há pontos que não foram muito favorecidos, seja por questões de tempo como de planejamento e adversidades externas, como a pandemia do COVID-19, entre 2020 e 2022, que restringiu e atrasou algumas ações do Projeto que tiveram que ser replanejadas.

## 7.6. Considerações a respeito do PRS Caatinga

Este Estudo de Caso foi feito de uma forma mais narrativa, por meio de uma explanação entre o que foi feito e o que poderia ter sido diferente. Os resultados apresentam as ações e legados deixados pelo PRS Caatinga, as metas alcançadas, os benefícios à região e os contratemplos que podem ser evitados em futuros projetos e que ficam aqui registrados como lição aprendida, num balanço entre os pontos positivos e negativos, representados numa análise da Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça (FOFA) do PRS Caatinga (Quadro 19).

O maior destaque do Projeto foi mostrar que é possível introduzir TecABC na Caatinga e na agricultura familiar de pequenos produtores. Pois, o Plano ABC foi criado para médios e grandes produtores e neste Projeto foi adaptado aos pequenos (de MATTOS *et al.*, 2024b). Como também, pela primeira vez, foi calculada a emissão evitada de CO<sub>2</sub> na produção agropecuária do bioma. A capacitação para o uso de TecABC, foi uma importante ação para se avançar com a sua implantação, proporcionou o aumento da eficiência produtiva da agropecuária e contribuiu para o fortalecimento do cooperativismo, com apoio à criação de uma nova cooperativa e à formação de uma rede de entidades organizada para fortalecer os arranjos produtivos locais (CIANCIO *et al.*, 2024). Essas ações podem alavancar o desenvolvimento da bioeconomia local, com o engajamento das entidades da região.

Contudo, o Projeto precisaria de mais tempo para um maior acompanhamento e registrar a consolidação das TecABC implantadas (de MATTOS *et al.*, 2024b). Segundo CIANCIO *et al.* (2024), a inserção de produtores rurais de médio porte (com propriedades entre 10 a 50 ha), assentamentos rurais, territórios indígenas, quilombolas e comunidades extrativistas com maiores áreas poderiam ter sido contemplados pelas ações do Projeto, aumentando o seu alcance no bioma Caatinga. De fato, foi necessário um maior número de pequenos produtores para se atingir a meta; deste modo, a logística ficou mais complexa e o tempo foi insuficiente para acompanhar, caso a caso, as atividades de implantação, se concentrando mais nas ações das UDS (CIANCIO *et al.*, 2024).

Quadro 19- Análise da Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça (FOFA) do PRS Caatinga.

Forças	Fraquezas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primeiro projeto com agricultura ABC na Caatinga;</li> <li>- Possibilidade de abranger vários territórios;</li> <li>- Associar mudanças climáticas e emissão de GEE à produção agropecuária da Caatinga;</li> <li>- Disseminação do conhecimento de TecABC para pequenos produtores familiares agrícolas, em âmbito regional;</li> <li>- Considerou as potencialidades da Caatinga e não suas limitações;</li> <li>- Aumento da eficiência produtiva com a implantação das TecABC;</li> <li>- Fortalecimento das ações de ATER por meio de capacitação especializada;</li> <li>- Capacitação em gestão, sobre gerenciamento financeiro, criação de marca e marketing digital, com 52 participantes;</li> <li>- Estruturação e fortalecimento de APL;</li> <li>- Oferta de insumos agrícolas para as entidades e produtores;</li> <li>- Fortalecimento do Cooperativismo;</li> <li>- Fortalecimento da Bioeconomia na Caatinga;</li> <li>- Promoção de equidade de gênero entre os produtores;</li> <li>- Alcance e superação de todas as metas propostas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tempo muito curto de execução do Projeto;</li> <li>- Atuação em poucos municípios em cada território;</li> <li>- Divisão dos municípios entre “pobreza verde e vermelha”, baseada na classificação do Projeto Agronordeste;</li> <li>- Curto tempo para o monitoramento das TecABC implantadas;</li> <li>- Limitação das áreas de atuação dentro da Caatinga;</li> <li>- Muitos produtores em pequenas áreas, poderiam ter sido incluídos produtores de médio porte (10 a 50 ha);</li> <li>- Escolha de entidades sem aptidão bioeconômica;</li> <li>- Dificuldade para fortalecer solicitação de crédito para viabilizar adoção das TecABC;</li> <li>- Dificuldade para fazer o Cadastro Ambiental Rural (CAR) das propriedades participantes;</li> </ul>
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inserir e discutir a Agenda climática em pequenas comunidades, indígenas e quilombolas;</li> <li>- Fortalecimento das entidades locais;</li> <li>- Criação de uma nova cooperativa para beneficiamento de mel;</li> <li>- Construção coletiva de rede de sustentabilidade; e</li> <li>- Fortalecimento dos Arranjos Produtivos Locais (APL).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pandemia do Covid-19 durante a capacitação;</li> <li>- Logística difícil para monitorar os 20 projetos; e</li> <li>- Gestão complexa de 20 entidades e muitas pessoas envolvidas.</li> </ul>

Adaptado de: de MATTOS *et al.*, 2024b.

Desde sua idealização, o PRS Caatinga poderia ter tido um delineamento diferenciado, a começar pela seleção e classificação dos municípios de atuação. A seleção dos municípios, a partir da base do Projeto AgroNordeste, poderia ter sido feita de outra forma. Em vez de classificá-los como “pobreza verde e vermelha”, o planejamento poderia ter partido de um levantamento prévio, um panorama das regiões do bioma. O fato de termos vários tipos de Caatinga, com regiões distintas, deveria ter sido considerado e feito um pacote diferenciado de TecABC para cada realidade.

Os municípios poderiam ter sido agrupados e classificados de acordo com as características socioambientais, perfil agrícola do produtor, aptidão ou restrição à implementação de uma determinada tecnologia (TecABC ou TS-CSA), acesso à água, acesso à crédito, entre outros. Para depois, serem selecionadas as tecnologias mais adequadas a cada município de acordo com a realidade local: reflorestamento e agroflorestas *versus* técnicas agrícolas para recuperação de solo degradado, ajustes na produção animal, por exemplo. E ao final, ter um ranking que mostrasse a aptidão de um município com relação às TecABC. Desta forma, poderiam ter sido escolhidos outros municípios, ou o Projeto poderia ter se concentrado em ações em menos Estados, facilitando a logística, diminuindo a mobilidade e aumentando a área de atuação no mesmo Estado.

Outra alternativa para o ponto de partida na seleção da área de estudo poderia ter sido a de escolher cadeias produtivas mais representativas e que necessitassem de apoio para diminuir a pobreza e o desmatamento, metas do Projeto.

Com relação às próprias metas, estas poderiam ter sido pensadas de uma forma mais direcionada a cada TecABC, como no Plano ABC, com separações mais claras sobre a implantação das tecnologias, dando maior ênfase ao ILPF. Pois algumas metas estão integradas e sobrepostas e de difícil distinção: 600 ha manejo sustentável (ILPF), 200 ha de área conservada em propriedade privada e 200 ha de área restaurada, acabam por serem difíceis de separar. O Projeto contabilizou, portanto, as duas primeiras metas mencionadas, de forma conjunta, pois as áreas degradadas das propriedades participantes foram restauradas com ILPF (CIANCIO *et al.*, 2024). Outro ponto a ser considerado é com relação ao desmatamento evitado, título do Projeto e que não tinha meta de área prevista, mas que foi contabilizado pelos cálculos dos KPIs.

O Componente 1 do Projeto foi bastante rico e importante na geração de conhecimento sobre a produção agropecuária na Caatinga, como adaptar as TecABC para o bioma considerando especificidades climáticas, tradicionais e perfil dos produtores e informações

diversas sobre os municípios estudados. As entrevistas com entidades locais foram uma importante alternativa devido à situação de isolamento, por ser época de pandemia. Senão poderiam ter sido substituídas por seminários e workshops presenciais. Neste componente foi feito um levantamento sobre as TS-CSA e introdução da agroecologia e produção mais sustentável; conhecimento sobre a situação da Assistência Técnica e Extensão Rural, sobre as possibilidades de linhas de crédito e estudo sobre arranjos produtivos locais e acesso a mercados.

No entanto, essas informações foram subutilizadas no **Componente 2**, sobre capacitação e implantação das TecABC em propriedades de pequenos produtores familiares no bioma. O Mapa Mental, apresentado em estudo do Componente 1, mostrava como poderia ter sido planejada a atuação do Projeto no Componente 2, mas pouco daquele plano foi seguido na prática. Um ponto de destaque nos estudos foi o fato de que as TecABC são fortalecidas ao serem associadas a uma TS-CSA, principalmente relacionada à água (captação, armazenamento e distribuição). Esse deveria ter sido um pré-requisito obrigatório na execução dos subprojetos apoiados pelo PRS Caatinga, entretanto, não foi feito amplamente, como sugerido. E, de fato, foi constatado que as entidades que fizeram essa integração obtiveram maior sucesso na implantação e estabelecimento das TecABC (BARRETO, 2024).

Ainda, com relação à escolha das 20 entidades para implantação das TecABC algumas tinham pouca aptidão bioeconômica, o que dificultou sua inserção num APL e no mercado local. A gestão e logística para monitorar os 20 subprojetos de perto também foi complexa, com muitas pessoas envolvidas e o acompanhamento poderia ter sido mais intenso e com mais tempo, como comentado anteriormente.

Quanto ao **Componente 3** do Projeto, não foi possível a criação de um fundo, para solicitação de linhas de créditos pelo pequeno produtor, para viabilizar a adoção das TecABC. Essa ação não decorreu como previsto, devido ao baixo orçamento, organização formal das propriedades, burocracia, entre outros fatores. Situação que dificultou também fazer o Cadastro Ambiental Rural (CAR) das propriedades participantes. Neste caso, priorizou-se, portanto, o fortalecimento do cooperativismo e da bioeconomia local, como forma de proporcionar um aumento na renda do produtor, meta que não foi mensurável, mas que possui indicadores de sua ocorrência, de acordo com relatos dos produtores envolvidos. Notou-se que para se criarem programas de fomento para disseminação das TecABC na Caatinga seria primordial serem consideradas algumas premissas, segundo consultores internos do Projeto, elencadas no Quadro 20.

Quadro 20- Premissas cruciais para criação de programa de fomento para disseminação das TecABC na Caatinga.

1. Integração das TecABC com as TS-CSA, para aumento da produtividade;
2. Capacitação contínua, específica e ATER qualificada;
3. Equipes de ATER com cada técnico responsável por atender, no máximo, 30 famílias de produtores;
4. Adoção das técnicas pecuárias: rotação de pastagens, criação intensiva e produção de forragem específica;
5. Desenvolvimento de Cooperativas;
6. Mecanismos Financeiros, por meio das cooperativas e fortalecimento dos APL; e
7. Promoção de financiamento com base em Créditos de Carbono, a partir de sistemas produtivos com uso de TecABC.

Fonte: Elaboração própria.

Como pesquisadora participante do estudo de caso em questão, percebi que os prazos eram curtos e às vezes o planejamento era afetado e tinha que ser adaptado. Lembrando que o Projeto ocorreu durante a Pandemia do COVID-19, como mencionado, o que atrasou um ano a parte prática de ida ao campo, após grande parte da capacitação ter sido *online*.

Pensar sobre o que poderia ter sido diferente num Projeto do tamanho do PRS Caatinga pode parecer ousado, mas essas reflexões são sempre produtivas como lições aprendidas e servem de base para outras pesquisas e ações. Importante destacar, mais uma vez, que o PRS Caatinga foi um estudo de caso de grande sucesso e importância para a Caatinga. Suas conquistas são significativas para a conservação do bioma e servem como ferramenta para criação de políticas públicas sólidas e de longo prazo (de MATTOS *et al.*, 2024b).

Para haver uma consolidação das TecABC e da experiência transmitida é necessário ampliar seu alcance, difundindo o conhecimento. Para isso, é fundamental a parceria com empresas e instituições, com o apoio da sociedade. Como também, a implantação de uma TecABC só será efetivamente eficaz se for feita de forma integrada a um sistema agrícola ou pecuário com enfoque na sustentabilidade produtiva.

Interessante avaliar a opinião dos produtores envolvidos no Projeto quanto às ações realizadas e sua relevância para a comunidade. Observou-se que o conhecimento transmitido foi absorvido, mesmo ainda permanecendo uma confusão entre os conceitos de algumas TecABC e as TS-CSA, que são mais familiares e já incorporadas pelo sertanejo (TAVARES *et al.*, 2020b). O ponto alto do Projeto, segundo participantes, foi o fortalecimento do serviço de ATER. A disponibilização de bens coletivos, desde simples insumos (mudas, arames para o cercamento e sementes) a maquinário foram valorizados e essenciais para acelerar o trabalho no campo. Foi gratificante constatar que os produtores perceberam que é possível produzir sem

queimadas nem desmatamento. E todos foram unânimes ao solicitar a continuação das atividades de implantação das TecABC e TS-CSA e de assistência técnica.

## CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo elucida como as TecABC podem contribuir para melhorar a produtividade agropecuária na Caatinga, de forma a torná-la sustentável e resiliente às condições ambientais semiáridas que tendem a se agravar com as mudanças climáticas.

A adoção das TecABC tem relevante contribuição para mitigar a emissão de GEE, responsáveis por essas alterações climáticas e para o alcance das metas brasileiras (NDC) para mitigação da emissão desses gases. Ao se implantar as TecABC na Caatinga tem que se considerar as peculiaridades da tradição local e adaptar as tecnologias à realidade socioeconômica e financeira do pequeno produtor familiar.

A ILPF foi identificada como a TecABC mais recomendada para produção agropecuária na Caatinga, por integrar os sistemas produtivos de forma sustentável, englobar outras TecABC e contribuir para a recuperação dos serviços ambientais, aumento da biodiversidade e dos recursos naturais.

Todas as sete TecABC estudadas (ILPF, MSF, RAD-P, RAD-F, FBN, SPD e MDA) podem ser implantadas numa propriedade familiar da Caatinga, de qualquer tamanho. Preferencialmente, a TecABC tem que estar associada a uma TS-CSA, geralmente de acesso ou armazenamento de água, para sua maior eficiência e sucesso. A escolha da TecABC vai depender de diversos fatores, como: características e perfil da propriedade, APL, condições financeiras do pequeno produtor e existência de cooperativas na região.

Considerando que a pecuária marca forte presença nas pequenas propriedades familiares e que é uma importante atividade econômica local, quanto à oferta de forragem, a ILPF também é a TecABC mais indicada, seguida pelo MSF e pela RAD-P. O MSF tem uma representatividade importante nesta produção porque a vegetação da Caatinga é uma fonte natural de forragem, mas precisa ser manejada e os animais criados de forma semiextensiva para aumentar a produção de forragem e conservar o bioma. Embora a RAD-P seja mais difícil de implementar, comparada às outras duas, é uma tecnologia fundamental para a recuperação de pastagens e para a conservação, quando feita com espécies arbóreas e arbustivas, como em uma ILPF.

A medição da mitigação das emissões de GEE para cada TecABC é complexa devido à escassez de dados para a Caatinga. As opções de mitigação do setor AFOLU mencionam as TecABC, mas alguns itens na análise tiveram de ser compartilhados entre mais de uma tecnologia e interpretados para uma estimativa de emissão e mitigação de cada TecABC. Essa

área de pesquisa deve ser mais bem estudada, com medições locais de emissões de GEE, para maior eficiência do monitoramento das estimativas de emissões evitadas e servir como parâmetro para o bioma.

As ações do PRS Caatinga serviram para a construção de uma estratégia de implantação das TecABC, que pode ser replicada e adaptada para pequenas propriedades da agricultura familiar deste e de outros biomas. Parte da hipótese desta pesquisa coincidiu com alguns dos objetivos do PRS Caatinga e que foi corroborada com a execução do Projeto.

O ineditismo do PRS Caatinga foi a junção de várias ações, testadas em conjunto, para implantação das TecABC, o que mostrou a necessidade de se planejar políticas públicas integradas para que estas sejam eficazes para o desenvolvimento regional.

Os estudos analisados revelaram que as TS-CSA, apesar de cruciais para o desenvolvimento sustentável da agricultura local, de forma isoladas, não são suficientes para garantir a resiliência climática a longo prazo. Portanto, a implantação das TecABC, potencializadas pelas TS-CSA, por meio de capacitação e ATER, com a identificação de APL, fortalece o cooperativismo e a bioeconomia relacionados à agricultura familiar.

O produtor da Caatinga precisará de um pouco mais de tempo de prática e capacitação contínua para que as TecABC passem a fazer parte da sua produção e rotina como as TS-CSA já o fazem.

As TecABC são importantes ferramentas para a adaptação às mudanças climáticas e para a segurança alimentar, e precisam ser estimuladas e expandidas para o bioma, com financiamentos, políticas públicas e projetos, de médio a longo prazo, associados à assistência técnica. A Caatinga, um bioma frágil e estressado pelo clima, é um exemplo importante de adaptações às adversidades que as mudanças climáticas podem acarretar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, K., CHIVENGE, P., CIAIS, P. *et al.* “No-tillage lessens soil CO<sub>2</sub> emissions the most under arid and sandy soil conditions: results from a meta-analysis”, **Biogeosciences** v. 13, pp. 3619–3633, 2016. DOI:10.5194/bg-13-3619-2016, 2016.
- ADGER, W.N., HUQ, S., BROWN, K., *et al.* “Adaptation to climate change in the developing world”, **Progress in Development Studies** v.3, pp. 179-195, 2003.
- AECID - AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO. “Lecciones Aprendidas sobre Agricultura Resiliente al Cambio Climático para contribuir a la Seguridad Alimentaria y al Derecho a la Alimentación en América Latina y el Caribe”, **Colección Experiencias de la Cooperación Española** v. 04, pp.104, 2018.
- ALBAGLI, S., LEITÃO, L.A. **Estudo sobre ATER para Tecnologias ABC no Semiárido.** Relatório Técnico. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS CAATINGA). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2020.
- ALMEIDA, R., ANDRADE, C., PACIULLO, D. *et al.* “Brazilian agroforestry systems for cattle and sheep”, **Tropical Grasslands Forrajes Tropicales** v. 1, n. 2, pp. 175–183, 2013. DOI: [https://doi.org/10.17138/tgtf\(1\)175-183](https://doi.org/10.17138/tgtf(1)175-183)
- ALVALÁ, R.C.S., CUNHA, A.P.M.A., BRITO, S.S.B. *et al.* “Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region”, **Earth Sciences - Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 1, e20170209, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>
- ALVES, A.R., MEDEIROS, A.N. de, ANDRADE, A.P. de, *et al.* “A Caatinga e a oportunidade de mitigação das emissões de gases de efeito estufa pela atividade pastoril”, **Revista Agronegócio e Meio Ambiente (RAMA)**, v. 11, n.2, pp. 639-661, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n2p639-661>
- ALVES, M.O., COÊLHO, J.D. “O extrativismo da carnaúba no Nordeste”. In Ximenes, L.F., Silva, M.S.L. da, Brito, L.T. de L. (eds), *Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro*, Tema 6: Extrativismo Sustentável, capítulo 1, Fortaleza, CE, Brasil, Banco do Nordeste do Brasil, pp. 1087 - 1138, 2019.
- ANUGA, S.W., CHIRINDA, N., NUKPEZAH, D. *et al.* “Towards low carbon agriculture: Systematic-narratives of climate-smart agriculture mitigation potential in Africa”, **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 2, 100015, Dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100015>
- ARAÚJO, J. C., “Recursos hídricos em regiões semiáridas”. In: Gheyi, H.R., Paz, V.P. da S., Medeiros, S. de S. *et al.* (eds) *Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações*, cap. 2, Campina Grande, PB, Brasil, Instituto Nacional

do Semiárido (INSA) e Cruz das Almas, BA, Brasil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), pp. 29 - 43, 2012. ISBN 978-85-64265-03-5

ARAÚJO FILHO, J.A. de. **Manejo pastoril sustentável da Caatinga.** Recife, PE, Brasil, Projeto Dom Helder Câmara, 200 p., 2013.

ARAÚJO FILHO, J.A. de **Proposta para a implementação do manejo pastoril sustentável da Caatinga.** Brasília, DF, Brasil, Ministério do Meio Ambiente (MMA), 135p., 2014.

ASSAD, L.T., ALDEANUEVA, C.M, CURI, M. *et al.* "Do combate à seca à convivência com o Semiárido - Novos caminhos à procura da sustentabilidade", Editorial, **Sustentabilidade em Debate** - Brasília, v. 7, Ed. Especial, pp. 7-21, dez/ 2016. DOI: 10.18472/SustDeb.v7nEsp.2016.21522

AYANTUNDE, A.A., TURNER, M.D., KALILOU, A. "Participatory analysis of vulnerability to drought in three agro-pastoral communities in the West African Sahel", **Pastoralism: Research, Policy and Practice** v. 5, n. 13, 2015. DOI 10.1186/s13570-015-0033-x

AZEVEDO, A.A, CAMPANILI, M., PEREIRA, C. (Org.). **Caminhos para uma Agricultura Familiar sob Bases Ecológicas: Produzindo com Baixa Emissão de Carbono.** 1 ed. Brasília, DF, Brasil, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 224 p., 2015. ISBN 978-85-87413-09-3.

BAHDUR, A., CHATTERJEE, A., KUMAR, R., *et al.* "Physiological and biochemical basis of drought tolerance in vegetables", **Vegetable Science** v. 38, n. 1, pp. 1-16, 2011. DOI: <https://doi.org/10.61180>

BAHIA. BAHIATER, Secretaria de Desenvolvimento Rural. Dados sobre assistência técnica rural no Estado. Governo do Estado da Bahia, 2024.

BARBOSA, A.L., VOLTOLINI, T.V., MENEZES, D.R. *et al.* Intake, digestibility, growth performance, and enteric methane emission of Brazilian semiarid non-descript breed goats fed diets with different forage to concentrate rations. **Tropical Animal Health and Production** v. 50, n. 2, pp. 283- 289, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1427-0>

BARBOSA, F.R.G.M., DUARTE, V.N., STADUTO, J.A.R. *et al.* "Land-Use Dynamics for Agricultural and Livestock in Central-West Brazil and its Reflects on the Agricultural Frontier Expansion", **Cleaner and Circular Bioeconomy**, v. 4, 100033, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100033>

BARRETO, R.C. **Manual de Implantação das Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono (TecABC) na Caatinga.** Relatório Técnico. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2024.

BATISTA, E., SOARES-FILHO, B., BARBOSA, F. *et al.* "Large-scale pasture restoration may not be the best option to reduce greenhouse gas emissions in

Brazil”, **Environmental Research Letters** v. 14, n. 12, 125009, 2019. DOI: 10.1088/1748-9326/ab5139

BAUDINO, C., GIUGGIOLI, N.R., BRIANO, R. *et al.* “Integrated methodologies (SWOT, TOWS, LCA) for improving production chains and environmental sustainability of Kiwifruit and Baby Kiwi in Italy”, **Sustainability** v. 1621, 2017. DOI: 10.3390/su9091621

BEZERRA, F.G.S., AGUIAR, A.P.D., ALVALÁ, R.C.S. *et al.* “Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator”, **Ecological Indicators** v. 117, 106579, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106579>

BOSCO, S., VOLPI, I. ANTICHI, D. *et al.* “Greenhouse Gas Emissions from Soil Cultivated with Vegetables in Crop Rotation under Integrated, Organic and Organic Conservation Management in a Mediterranean Environment”, **Agronomy**, v. 9, n. 8, 446, 2019. DOI:10.3390/agronomy9080446

BRASIL. **Lei nº 11.326**, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2006a. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm)

BRASIL. **Lei Federal nº 11.284**, de 02 de março de 2006. Lei de Gestão de Florestas Públicas. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF, entre outros. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2006b. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm)

BRASIL. **Lei nº 12.187**, de 29 de dezembro de 2009. Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm)

BRASIL. **Lei nº 12.188**, de 11 de janeiro de 2010. Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12188.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12188.htm)

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília, DF, MAPA/ACS, 173 p., 2012a.

BRASIL. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Novo Código Florestal. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e altera algumas leis. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012b. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)

BRASIL. **Lei 12.805**, de 29 de abril de 2013. Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e altera a lei nº 8.171 de 17 de janeiro de 1991. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2013. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/lei/l12805.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12805.htm)

BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Governo. Secretaria Nacional de Juventude. **Diagnóstico da juventude rural: diagnóstico situacional e diretrizes para políticas públicas para as juventudes rurais brasileiras** [recurso eletrônico], Secretaria de Governo, Secretaria Nacional de Juventude e Fundação Universitária José Bonifácio. Rio de Janeiro, RJ, Screeograph Edições, 2018. ISBN 978-85-99587-07-2

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Secretaria de Políticas para a Formação e Ações Estratégicas. Coordenação-Geral do Clima. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, 5 ed., Brasília, DF, 71 p, 2019a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). NOTA TÉCNICA: **Diagnóstico da expansão da adoção da tecnologia de Tratamento de Dejetos Animais (TDA) no território brasileiro entre 2010 e 2019**. Acordo de doação do IBRD/TF 17368-BR (Projeto ABC Cerrado). Brasília – Dezembro, 2019b.

BRASIL, 2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Programa ABC**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/programa-abc-financia-mais-de-750-mil-hectares-com-tecnologias-de-baixa-emissao-de-carbono-em-2020>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria MAPA nº 471, de 10 de agosto de 2022, **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária – ABC + para o período 2020 – 2030**, Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 152, n. 1, pp. 10, 2022. Disponível em:<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mapas-n-471-de-10-de-agosto-de-2022-421902518>

BRASIL. Projeto de Lei 3904/23. Institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO), 2023. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2379032>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano Clima**, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima>

BRASIL. **Lei 14.828**, de 20 de março de 2024. Altera a Lei 11.326/2006 (Lei da Agricultura Familiar), para ampliar o âmbito do planejamento e da execução das ações da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2024b. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/lei/l14828.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14828.htm)

BRITO, S.S.B., CUNHA, A.P.M.A., CUNNINGHAM, C.C. *et al.* “Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region”, **Review, International Journal of Climatology**, v. 38, pp. 517–529, 2018. DOI: 10.1002/joc.5225

BURNEY, J., CESANO, D., RUSSELL, J. *et al.* “Climate change adaptation strategies for smallholder farmers in the Brazilian Sertão”, **Climate Change**, v. 126, pp. 45–59, 2014. DOI: 10.1007/s10584-014-1186-0

CAMPOLINA, A.G., SOÁREZ, P.C., AMARAL, F.V. *et al.* “Análise de decisão multicritério para alocação de recursos e avaliação de tecnologias em saúde: tão longe e tão perto?” **Caderno de Saúde Pública**, v. 33, n. 10, e00045517, 2017. DOI: 10.1590/0102-311X00045517

CAMPOS, I., VIZINHO, A., COELHO, C. *et al.* “Participation, scenarios and pathways in long-term planning for climate change adaptation”, **Planning Theory & Practice** v. 17, n. 4, pp. 537-556, 2016. DOI: 10.1080/14649357.2016.1215511

CANUTO, R. “Flooding and climate denialism are harming millions of people in southern Brazil”, Opinion. BMJ 386:q1519, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.q1519>

CARRÃO, H., NAUMANN, G., BARBOSA, P. “Global projections of drought hazard in a warming climate: a prime for disaster risk management”, **Climate Dynamics** v. 50, pp. 2137–2155, 2018. DOI 10.1007/s00382-017-3740-8

CARVALHO, J.F., MONTENEGRO, A.A.A., SOARES, T.M. *et al.* “Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina”, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, pp. 256–263.

CAVALCANTE, A.R.C. *et al.* “Tecnologias para o uso pastoril sustentável da Caatinga”. In: Furtado, D.A., Baracuhy, J.G. de V., Francisco, P.R.M. (eds.), *Difusão de Tecnologias Apropriadas para o Desenvolvimento Sustentável do Semiárido Brasileiro*. cap. VI, Campina Grande, PB, Brasil, EPGRAF, pp. 95-112, 2013.

CASSIMIRO, C.A.L., OLIVEIRA FILHO, F. de S., ALENCAR, L.V.C. *et al.* “Tecnologia mitigadora dos efeitos da seca em espécies da Caatinga como estratégia para o recaatingamento”. DOI 10.22533/at.ed.92319150322. In: Zuffo, A.M. (ed), *As Regiões Semiáridas e suas Especificidades 3*, eletronic version, Chapter 21 Ponta Grossa, PR, Brasil, Atena Editora, pp. 206 - 213, 2019. DOI 10.22533/at.ed.923191503

CHI, S., YAO, L., ZHAO, G. *et al.* “The performance of low carbon agricultural technologies on farmers’ welfare: A meta-regression analysis of Asian cases”, **Ecological Economics**, v. 224, 108318, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108318>

CIANCIO, P., BARRETO, R., GEMUNDER, L. *et al.* **PRS Caatinga [livro eletrônico]: uma trajetória de inovação no semiárido brasileiro.** Trad. David Hathaway. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Ed. dos Autores, 2024. ISBN 978-65-00-92073-4.

CLEVELAND, D.A., SOLERI, D., SMITH, S.E. “Do folk crop varieties have a role in sustainable agriculture?” **Bioscience** v. 44, pp. 740–751, 2014.

COOPER, R., PRICE, R.A. “Unmet needs and opportunities for climate change adaptation and mitigation in the G5 Sahel region”, **K4D Emerging Issues Report.** Brighton, UK, Institute of Development Studies, 2019.

CÓRDOBA, C., TRIVIÑO, C., CALDERÓN, J.T. “Agroecosystem resilience. A conceptual and methodological framework for evaluation”, **PLoS ONE** v. 15, n. 4, ee0220349, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220349>

COSTA, R.E. da, 2013, *Elaboração de um índice de sustentabilidade ambiental do uso da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó.* Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Maringá, PR, Brasil. <Disponível em: [https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS\\_dbefbd1661b146cf20991d5cf93f44a91](https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_dbefbd1661b146cf20991d5cf93f44a91) Acessado em: 24/05/2021 >

CUNHA, D.A., COELHO, A.B., FÉRES, J.G. “Irrigation as an adaptive strategy to climate change: An economic perspective on Brazilian agriculture.” **Environment and Development Economics** v. 20, n. 1, pp. 57–79, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1355770X14000102>

CUNHA, B.P., SILVA, J.I.A.de O. “A crise ambiental no Semiárido: A perspectiva do pensamento sistêmico”. In: Giongo, V., Angelotti, F. (eds), *Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira*, 1 ed., Cap. 5, pp. 73-91, Brasília, DF, Brasil, Embrapa, 2022.

DANTAS, E.F., FREITAS, A.D.S., LYRA, M.C.C.P. *et al.* “Biological fixation, transfer and balance of nitrogen in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) orchard intercropped with different green manure crops”, **Australian Journal of Crop Science** v. 13, n. 03, pp. 465-471, 2019. DOI: 10.21475/ajcs.19.13.03.p1559

DE LEONARDIS, A.M., PETRARULO, M., VITA, P.D. *et al.* “Genetic and Molecular Aspects of Plant Response to Drought in Annual Crop Species.” In: Giuseppe, M., Dichio, B. (eds), *Advances in Selected Plant Physiology Aspects*, Rijeka, Croatia, InTech Publisher, pp. 45–74, 2012.

DHANYA, P., RAMACHANDRAN, A. “Farmers' perceptions of climate change and the proposed agriculture adaptation strategies in a semi arid region of south India”, **Journal Integrative Environmental Sciences** v. 13, n. 1, pp. 1-18, 2016. DOI:10.1080/1943815X.2015.1062031

DURIGON, A., EVERE, J., METSELAAR, K. *et al.* “Water Stress Permanently Alters Shoot Architecture in Common Bean Plants”, **Agronomy**, v. 9, n. 3, 160, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9030160>

DWIVEDI, S., GOLDMAN, I., ORTIZ, R. "Pursuing the Potential of Heirloom Cultivars to Improve Adaptation, Nutritional, and Culinary Features of Food Crops." **Agronomy** v. 9, n. 8, 441, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9080441 [www.mdpi.com/journal/agronomy](http://www.mdpi.com/journal/agronomy)

ELOI, W.M., DUARTE, S.N., SOARES, T.M. *et al.* "Influência de diferentes níveis de salinidade nas características sensoriais do tomate." **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 15, pp. 16–21, 2011.

ENDO, A., BURNETT, K., ORENCO, P.M. *et al.* "Methods of the water-energy-food nexus", **Water** v. 7, pp. 5806–5830, 2015. DOI: 10.3390/w7105806

EUGÈNE, M., KLUMPP, K., SAUVANT, D. "Methane mitigating options with forages fed to ruminants", **Grass Forage Science** v. 76, n. 2, pp. 196–204, May 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12540>

FABRICANTE, J. L., ARAÚJO, K.C.D. de, MANFIO, M. *et al.* "Mortalidade de mudas de espécies nativas sob efeito do pastejo de caprinos, ovinos e emas: implicações para projetos de recuperação/restauração de áreas degradadas na caatinga", **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 6, pp. 410-413, nov./dez. 2017. DOI: 10.5935/2318-7670.v05n06a05

FARIAS, J.L. de S., MESQUITA, A.M.S., FERNANDES, F.E.P. **Sistemas agroflorestais como inovação social na sustentabilidade de agroecossistemas de base familiar no semiárido cearense**. 1 ed., on-line, Sobral, CE, Brasil, Embrapa Caprinos e Ovinos, pp. 1- 23, 2018.

REZENDE, C., FBDS - FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, Mapeamento de Uso do Solo e Hidrografia (MUSH), 2019. Disponível em: [https://prscaitinga.org.br/-conhecimento-](https://prscaatinga.org.br/-conhecimento-) e <https://geo.fbds.org.br/>

FELTRAN-BARBIERI, R., FÉRES, J.G. "Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration", **Royal Society Open Science** v. 8, 201854, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.201854>

FERNÁNDEZ-ORTEGA, J., ÁLVARO-FUENTES, J., CANTERO-MARTÍNEZ, C. "The use of double-cropping in combination with no-tillage and optimized nitrogen fertilization reduces soil N<sub>2</sub>O emissions under irrigation", **Science of The Total Environment**, v. 857, 159458, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159458

FLORIDA ROFNER, N., PAREDES ARCE, M., PAREDES SALAZAR, R.M. *et al.* "An organic management alternative that improves soil quality in cocoa plantations under agroforestry systems", **Scientia Agropecuaria** v. 13, n. 4, pp. 335-342, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.030>

FOUTS, J.Q., HONAN, M.C., ROQUE, B.M. et al. "Enteric methane mitigation interventions", **Translational Animal Science** v. 6, n. 2, txac041, 2022. DOI: 10.1093/tas/txac041.

FRAGA, R.G., SAYAGO, D.A.V. "Soluções baseadas na Natureza: uma revisão sobre o conceito" In: *Seção 2. Parcerias Estratégicas - Edição Especial*, v. 25, n. 50, CGEE: Brasília, DF, Brasil, pp. 67-82, jan-jun 2020. ISSN 1413-9375

FRANÇA, C., SANCHES, V. **Mapeamento de Cadeias Produtivas nas Microrregiões Prioritárias do PRS Caatinga**. Relatório Técnico. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2020.

FREITAS, A.D.S., SAMPAIO, E.V.S.B., SANTOS, C.E.R.S. et al. "Fixação biológica de nitrogênio no Semiárido Brasileiro", **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 08, número especial IV SMUD, pp. 585-597, 2015. DOI: 10.26848/rbgf.v8.0.p585-597

GAGLIANONI, M.C., CAMPOS, M.J., FRANCESCHINELLI, E. et al. **Plano de manejo para os polinizadores do tomateiro**, Belchior, C., Antunes, V.Z., Calandino, D. (Coord. eds), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Funbio, 2015, 48 p. ISBN 978-85-89368-22-3

GAIVIZZO, L.H.B., LITRE, G., FERREIRA, J.L. et al. "Resilience to climate change in Fundo de Pasto Communities in the semiarid region of Bahia State, Brazil", **Sociedade & Natureza** v. 31, pp. 1-22, 2019. DOI: 10.14393/SN-v31-2019-46331

GARCIA, A.R., BERNARDI, A.C.C., PEZZOPANE, J.R.M. et al. "Use of infrared thermography from a crewed aerial vehicle for remote sensing of tropical pasture areas with different levels of afforestation", **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 213, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108198>

GHOSH, B.N., DOGRA, P., SHARMA, N.K. et al. "Conservation agriculture impact for soil conservation in maize-wheat cropping system in the Indian sub-Himalayas". **International Soil and Water Conservation Research** v. 3, pp. 112–118, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.001>

GONTIJO NETO, M.M. et al. "Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)". In Nobre, M.M., Oliveira, I.R. de. (eds), *Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação*, cap. 5, Brasília, DF, Brasil, Embrapa, pp. 139-178, 2018.

GUALDANI, C., BURGOS, A. **Mapeamento de Fontes Institucionais sobre Tecnologias Sociais na Caatinga**. Relatório Técnico. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2020.

GURGEL, M.T., UYEDA, C.A., GHEYI, H.R. *et al.* “Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio.” **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 14, pp. 3–10, 2010.

GUTIÉRREZ, A.P.A., ENGLE, N.L., DE NYS, E. *et al.* “Drought preparedness in Brazil”, **Weather Climate Extremes** v. 3, pp. 95–106, 2014. DOI:10.1016/j.wace.2013.12.001

HUI, M., YU-RONG, Q., YONG, F. “Risk preferences and the low-carbon agricultural technology adoption: Evidence from rice production in China”, **Journal of Integrative Agriculture** v. 22, n. 8, pp. 2577–2590, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.07.002>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017 - resultados definitivos**, Rio de Janeiro: IBGE, outubro de 2019a. Disponível em: <https://censo.ibge.gov.br/agro/2017/> resultados-censo-agro-2017.html

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais - BDIA**, Rio de Janeiro: IBGE, 2019b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Mapa do Recorte do Semiárido Brasileiro e do Bioma Caatinga**. DATUM: SIRGAS, 2000. Escala numérica 1:9.000.000. Governo do Brasil.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Inpe Nordeste mapeia desmatamento da Caatinga**. São Paulo: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2015. Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=3895](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3895)

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. “Climate change 2001: Synthesis report”. In: Watson, R.T., Core Writing Team (eds), *A contribution of working groups I, II, and III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press, 2001.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. “Climate Change 2007: The Physical Science Basis”. In: Solomon, S., Qin, D. Manning, M. *et al.* (eds) *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p., 2007.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. “Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Working group II contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5), Genebra, Suíça, IPCC, 2014.

IWATA, B.D.F., BRANDÃO, M.L.S.M, BRAZ, R.D.S. *et al.* “Total and particulate contents and vertical stratification of organic carbon in agroforestry system in

Caatinga”, **Revista Caatinga** v. 34, n. 2, pp. 443-451, Apr - Jun 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n220rc>

KALHAPURE, A.H., GAIKWAD, D.D., SAH, D. *et al.* “Climate change: Causes, impacts and combat with special reference to agriculture - A review”, **Current Advances in Agricultural Sciences** v. 11, n. 1, pp. 1-10, 2019. DOI: 10.5958/2394-4471.2019.00001.7

KALKAVAN, B. “Climate change, inequality and conflict: Approaches to strengthen Mali’s Climate Change Adaptation” **Planetary Security Initiative, Policy Brief**, Clingendael Institute, 2017. Disponível em: [https://www.planetarysecurityinitiative.org/sites/default/files/2017-12/PB\\_Climate%20change%20inequality%20and%20conflict.pdf](https://www.planetarysecurityinitiative.org/sites/default/files/2017-12/PB_Climate%20change%20inequality%20and%20conflict.pdf)

KASSAM, A.H., MKOMWA, S., FRIEDRICH, T. (eds), **Conservation Agriculture for Africa: Building Resilient Farming Systems in a Changing Climate**, London, CABI, 2017.

KICHEL, A.N., COSTA, J.A.A. da, ALMEIDA, R.G. de *et al.* “Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) - Experiências no Brasil”, **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa v. 71, n. 1, pp. 94-105, 2014. DOI: 10.17523/bia.v71n1p94

KIILL, L.P., RIBEIRO, M., SIQUEIRA, K.M.M. *et al.* **Polinização do meloeiro: biologia reprodutiva e manejo de polinizadores**. Belchior, C., Antunes, V.Z., Calandino, D. (Coord. eds), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Funbio, 32 p., 2015.

KIPLING, R.P., TOPP, C.F.E., BANNINK, A., *et al.* “To what extent is climate change adaptation a novel challenge for agricultural modellers?”, **Environmental Modelling & Software** v. 120, 104492, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104492>

KOENIG, K.M., BEAUCHEMIN, K.A. “Effect of feeding condensed tannins in high protein finishing diets containing corn distillers grains on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and route of nitrogen excretion in beef cattle”, **Journal of Animal Science** v. 96, n. 10, pp. 4398–4413, 2018. DOI: 10.1093/jas/sky273

LAHMAR, R., BATIONO, B.A., LAMSO, N.D. *et al.* “Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: Building on traditional local practices for soil restoration”, **Field Crops Research** v. 132, pp. 158–167, 2012. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.09.013

LASCO, R.D., DELFINO, R.J.P., CATAUTAN, D.C. *et al.* “Climate risk adaptation by smallholder farmers: The roles of trees and agroforestry”, **Current Opinion in Environmental Sustainability** v. 6, pp. 83–88, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.013>

LIMA, M.L.de F., SOUZA, S.M.F.de SÁ, I.V. de *et al.* “Deep learning with aerial surveys for extensive livestock hotspot recognition in the Brazilian Semi-arid

Region”, **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, e010922, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202347010922>

LINDOSO, D., EIRÓ, F., ROCHA, J.D. “Desenvolvimento Sustentável, Adaptação e Vulnerabilidade à Mudança Climática no Semiárido Nordestino: Um Estudo de Caso no Sertão do São Francisco”, Documentos Técnico-Científicos **Revista Econômica do Nordeste** v. 44, número especial, pp. 301-332, 2013.

LINDOSO, D.P., EIRÓ, F., BURSZTYN, M. *et al.* “Harvesting Water for Living with drought: insights from the Brazilian human coexistence with semi-aridity approach towards achieving the sustainable development goals”, **Sustainability** v. 10, 622, 2018. DOI:10.3390/su10030622

LOUCKS, D.P. “Impacts of climate change on economies, ecosystems, energy, environments, and human equity: A systems perspective”. In: *The Impacts of Climate Change*. Elsevier Inc., Chapter 2, pp. 19-50, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-822373-4.00016-1

MACHADO, M.A., RHODEN, A.C. “Aplicação da agricultura regenerativa no Brasil: Estudo de caso no oeste Catarinense”, **Anais da Agronomia** v. 2, n. 1, pp.14-36, 2021/2. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/agronomia/article/view/314>

MAGRIN, G.O., MARENGO, J.A., BOULANGER, J.P. *et al.* “Central and South America”. In: Barros, V.R., Field, C.B., Dokken, D.J. *et al.* (eds.), *Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 1499-1566, 2014.

MAIA, A.G., CESANO, D., MIYAMOTO, B.C.B. *et al.* “Climate change and farm-level adaptation: the Brazilian Sertão”, **International Journal of Climate Change Strategies and Management** v. 10, n. 5, pp. 729-751, 2018. Emerald Publishing Limited 1756-8692, DOI 10.1108/IJCCSM-04-2017-0088

MALHI, G.S., KAUR, M., KAUSHIK, P. “Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: a review”, **Sustainability** v.13, n. 3, 1318, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031318>

MALTA, F.S., COSTA, E.M da, MAGRINI, A. “Socio-environmental vulnerability index: a methodological proposal based on the case of Rio de Janeiro, Brazil”, **Ciência & Saúde Coletiva** v. 22, n. 12, pp. 3933-3944, 2017. DOI: 10.1590/1413-812320172212.25032017

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária **Plano Agronordeste**, 2019. Disponível em:<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agronordeste/agronordeste>

MARCHEZETTI, A.L., KAVISKI, E., BRAGA, M.C.B. “Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos

domiciliares”, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, pp. 173-187, 2011.

MARENGO, J.A. “Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil.” **Parcerias estratégicas** – Brasília, DF, Brasil, n. 27, pp. 149-176, 2008.

MARENGO, J.A., ALVES, L.M., BESERRA, E.A. *et al.* “Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro”. In: Medeiros, S. S., Gheyi, H. R., Galvão, C. O. et al. (eds), *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*, Cap. 13, Campina Grande, PB, Brasil, Instituto Nacional do Semiárido (INSA), pp. 383 – 342, 2011.

MARENGO, J.A. “O Futuro Clima do Brasil”, **Revista USP/ São Paulo – Dossiê Clima**, n. 103, pp. 25-32, 2014.

MARENGO, J.A., BERNASCONI, M. “Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections”, **Climatic Change** v. 129, pp. 103–115, 2015. DOI 10.1007/s10584-014-1310-1

MARENGO, J.A., TORRES, R.R.; ALVES, L.M. “Drought in Northeast Brazil—Past, present, and future”, **Theoretical and Applied Climatology** v. 129, n. 3–4, pp. 1189–1200, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1007/s00704\\_016-1840-8](https://doi.org/10.1007/s00704_016-1840-8)

MARENGO, J.A., CUNHA, A.P.M.A., NOBRE, C.A. *et al.* “Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C”, **Natural Hazards**, v. 103, pp. 2589–2611, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>

MARINHO, C.M., 2021, *Agroecologia, Convivência com o Semiárido e Extensão Rural: Um olhar sobre a experiência do IRPAA no Território Sertão do São Francisco/BA*. Ph.D dissertation, Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

MARQUES, T.H.N., RIZZI, D., FERRAZ, V. *et al.* “Soluções baseadas na natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano, casos do Brasil e Peru”, **Revista LABVERDE**, FAUUSP. São Paulo, v. 11, n. 01, e189419, 2021. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189419>

MASSARETTO, I.L., ALBALADEJO, I., PURGATTO, E. *et al.* “Recovering Tomato Landraces to Simultaneously Improve Fruit Yield and Nutritional Quality Against Salt Stress.” **Frontiers in Plant Science** v. 9, 1778, 2018. DOI:10.3389/FPLS.2018.01778

MATTILA, T.J., HAGELBERG, E., SÖDERLUND, S. *et al.* “How farmers approach soil carbon sequestration? Lessons learned from 105 carbon-farming plans”, **Soil Tillage Research**, v. 215, 105204, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105204>.

MATOS CARLOS, S., CUNHA, D.A., PIRES, M.V. *et al.* “Understanding farmers’ perceptions and adaptation to climate change: the case of Rio das Contas basin, Brazil”, **Geo Journal** v. 85, pp. 805–821, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10708-019-09993-1>

MAZORRA, J., BARRETO, R.C., SANTOS, P.F. *et al.* “Overview “Panorama do uso de fogões melhorados no Semiárido brasileiro”, **Sustainability in Debate**, Brasília, v. 10, n. 2, pp. 69-84, ago. 2019. ISSN-e 2179-9067

de MATTOS, V.Z.A., TAVARES, B.G., BARRETO, R. da C. *et al.* “Low-carbon agricultural technologies improve forage and feed production in the Caatinga biome, Brazil: Characteristics, comparison, effects of climate change, resilience, local development, and food security”, **Scientia Agropecuaria**, v. 15, n. 4, pp. 629-639, 2024a. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.046>

de MATTOS, V.Z.A., BARRETO, R. da C., de FREITAS, M.A.V. “Implantação de Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono na Caatinga: Projeto Rural Sustentável Caatinga”, **Nativa**, v. 12, n. 4, pp. 682–692, 2024b. DOI: <https://doi.org/10.31413/nat.v12i4.18035>

de MELO, H. “Relevância da abordagem qualitativa no estudo de caso”, **Indagatio Didactica** v. 5, n. 2, pp. 1030-1046, 2013. DOI: <https://doi.org/10.34624/id.v5i2.4484>

MENEZES, S.S.M., SILVAS, J.N.G. “Exploring socio-biodiversity alternatives in Sergipe’s Sertão - Brazil: the leading role of women, family farmers, and traditional groups in Caatinga conservation”, **Sustainability in Debate**, v. 15, n. 2, pp. 169-185, 2024. DOI: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v15n2.2024.54239>

MICCOLIS, A., PENEIREIROS, F.M; VIEIRA, D.L.M. *et al.* “Restoration through agroforestry: options for reconciling livelihoods with conservation in the Cerrado and Caatinga Biomes in Brazil”, **Experimental Agriculture** Cambridge University Press (online) v. 55, S1, pp. 208–225, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479717000138>

MIDEGA, C.A.O., BRUCE, T.J.A., PICKETT, J.A. *et al.* “Climate-adapted companion cropping increases agricultural productivity in East Africa”, **Field Crops Research** v. 180, pp. 118-125, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.05.022>

MILHORANCE, C., LE COQ, J.F., SABOURIN, E. *et al.* “A policy mix approach for assessing rural household resilience to climate shocks: Insights from Northeast Brazil”, **International Journal of Agricultural Sustainability** v. 20, n. 4, pp. 675-691, 2022. DOI: [10.1080/14735903.2021.1968683](https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1968683)

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil / MMA.** Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba, Santana, M.S. (org.), Brasília: MMA, 2007.

MONTENEGRO, A.A.A., MONTENEGRO, S.M.G.L. “Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido”, In: Gheyi, H.R., Paz, V.P. da S., Medeiros, S. de S. et al. (eds) *Recursos hídricos em regiões semiáridas: Estudos e aplicações*,<sup>[1]</sup> cap. 1, Campina Grande, PB, Brasil, Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e Cruz das Almas, BA, Brasil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), pp. 2 - 27, 2012. ISBN 978-85-64265-03-5

MOURA, M.S.B., ESPÍNOLA SOBRINHO, J., SILVA, T.G.F. et al. “Aspectos meteorológicos do semiárido brasileiro”. In: Ximenes, L.F., Silva, M.S.L. da, Brito, L.T. de L. (eds), *Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro*, Fortaleza, CE, Brasil, Banco do Nordeste do Brasil, pp. 85-104, 2019.

MUCCILLO, L. **Panorama Institucional Socioambiental para Caatinga.** Relatório Técnico. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2020.

MULIMBI, W., NALLEY, L., DIXON, B. et al. “Factors Influencing Adoption of Conservation Agriculture in the Democratic Republic of the Congo”, **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 51, n. 4, pp. 622–644, 2019. DOI:10.1017/aae.2019.25

NA, Y., LI, D.H., LEE, S.R. “Effects of dietary forage-to-concentrate ratio on nutrient digestibility and enteric methane production in growing goats (*Capra hircus hircus*) and Sika deer (*Cervus nippon hortulorum*)”, **Asian-Australasian Journal of Animal Science** v. 30, n. 7, pp. 967–972, 2017. DOI: 10.5713/ajas.16.0954

NASUTI, S., EIRÓ, F., LINDOSO, D. “Agricultural Challenges in the Brazilian Semiarid Region”, **Sustentabilidade em Debate** v. 4, n. 2, pp. 276-298, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v4n2.2013.10049>

NASUTI, S., LINDOSO, D. “Percepção, vulnerabilidade e adaptação aos desafios climáticos, estudos de caso na Bahia, Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte”. In: Azevedo, A.A, Campanili, M., Pereira, C. (eds), *Caminhos para uma Agricultura Familiar sob Bases Ecológicas: Produzindo com Baixa Emissão de Carbono*, 1 ed., Cap. 9, Brasília, DF, Brasil, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), pp. 151-163, 2015.

NEGRA, C., VERMEULEN, S., BARIONI, L.G. et al. “Brazil, Ethiopia and New Zealand lead the way on climate-smart agriculture”, **Agriculture & Food Security** v. 3, pp. 19-24, 2014. DOI: 10.1186/s40066-014-0019-8

NELSON, G.C., VALIN, H., SANDS, R.D. et al. “Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks”, **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** v. 111, n. 9, pp. 3274–3279, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1222465110>

NEMESKÉRI, E., HELYES, L. “Review “Physiological Responses of Selected Vegetable Crop Species to Water Stress”, **Agronomy** v. 9, 447, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9080447, [www.mdpi.com/journal/agronomy](http://www.mdpi.com/journal/agronomy)

- NEMESKÉRI, E., NEMÉNYI, A., BO'CS, A., PÉK, Z., HELYES, L. 2019a. "Physiological Factors and their Relationship with the Productivity of Processing Tomato under Different Water Supplies." **Water**, 11: 586.
- NEMESKÉRI, E., MOLNÁR, K., RÁCZ, C., DOBOS, A.C., HELYES, L. 2019b. "Effect of Water Supply on Spectral Traits and Their Relationship with the Productivity of Sweet Corns." **Agronomy**, 9, p. 63.
- NEVES, M.C.R., SILVA, F.F., FREITAS, C.O. *et al.* "The Role of Cooperatives in Brazilian Agricultural Production", **Agriculture** v. 11, n. 10, 948, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11100948>
- NEWTON, P.; GOMEZ, A.E.A. JUNG, S. *et al.* "Overcoming barriers to low carbon agriculture and forest restoration in Brazil: The Rural Sustentável project", **World Development Perspectives** v. 4, pp. 5–7, 2016. DOI: [10.1016/j.wdp.2016.11.011](https://doi.org/10.1016/j.wdp.2016.11.011)
- NEWTON, P., CIVITA, N., FRANKEL-GOLDWATER, L. *et al.* "What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes", **Frontiers in Sustainable Food System** v. 4, 577723, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723>
- O'BRIEN, K., LEICHENKO, R., KELKAR, U. *et al.* "Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India." **Global Environmental Change** v. 14, n. 4, pp. 303–313, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.01.001>
- OGLE, S.M., ORLANDER, L., WOLLENBERG, L. *et al.* "Reducing greenhouse gas emissions and adapting agricultural management for climate change in developing countries: providing the basis for action", **Global Change Biology** v. 20, pp. 1–6, 2014. DOI: [10.1111/gcb.12361](https://doi.org/10.1111/gcb.12361)
- OLIVEIRA SANTOS, N., MACHADO, R.A.S., GONZÁLEZ, R.C.L. "Identification of levels of anthropization and its implications in the process of desertification in the Caatinga Biome (Jeremoabo, Bahia-Brazil)", **Cuadernos de Investigación Geográfica** v. 48, n. 1, pp. 41-57, 2022. DOI: [10.18172/cig.5212](https://doi.org/10.18172/cig.5212)
- PAULA ASSIS, T. R. de. "Sociedade Civil e a Construção de Políticas Públicas na região Semiárida brasileira: o caso do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC)", **Revista de Políticas Públicas** - Universidade Federal do Maranhão São Luís, Maranhão, Brasil, v. 16, n. 1, pp. 179-189, enero-junio 2012.
- PEREIRA-FILHO, J.M., SILVA, A.M. de A., CÉZAR, M.F. "Manejo da Caatinga para a produção de caprinos e ovinos", **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador v. 14, n. 1, pp. 77-90, 2013. ISSN15199940
- PÉREZ-MARIN, A.M., ROGÉ, P., ALTIERI, M.A. *et al.* "Agroecological and Social Transformation for coexistence with semi-aridity in Brazil", **Sustainability** v. 9, n.6, pp. 990, 2017. DOI:[10.3390/su9060990](https://doi.org/10.3390/su9060990)

PHUONG, L.T.H., BIESBROEK, G.R., SEN, L.T.H. *et al.* “Understanding smallholder farmers' capacity to respond to climate change in a coastal community in Central Vietnam”, **Climate and Development** v. 10, n. 8, pp. 701-716, 2018. DOI: 10.1080/17565529.2017.1411240

PIEDRA-BONILHA, E.B., CUNHA, D.A., BRAGA, M.J. “Diversificação agrícola na bacia hidrográfica do Rio das Contas, Bahia”, **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 72, pp. 280-306, mai./ago. 2019. DOI: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p3280>

PINHEIRO, F.M., NAIR, P.K.R. “Silvopasture in the Caatinga biome of Brazil: A review of its ecology, management, and development opportunities”, **Forest Systems** v. 27, n. 1, eR01S, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2018271-12267>

PIRES, C., PIRES, V.C., RODRIGUES, W. *et al.* **Plano de manejo para polinizadores em área de algodoeiro consorciado no Nordeste do Brasil**. Belchior, C., Antunes, V.Z., Calandino, D. (Coord. eds) Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Funbio, 40 p., 2015.

PRS CAATINGA - PROJETO RURAL SUSTENTÁVEL CAATINGA. Site, 2024. Disponível em: [https://prscaitinga.org.br/](https://prscaatinga.org.br/)

RAHMAN, M.M., ARAVINDAKSHAN, S., HOQUE, M.A. *et al.* “Conservation tillage (CT) for climate-smart sustainable intensification: assessing the impact of CT on soil organic carbon accumulation, greenhouse gas emission and water footprint of wheat cultivation in Bangladesh”, **Environmental and Sustainability Indicators** v. 10, 100106, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100106>

RAMOS-SANDOVAL, R., MENDIBURU-DÍAZ, C. “Why do small farmers have less access to credit? A microdata analysis of the Peruvian case” **Nativa** v. 12, n. 2, pp. 215-225, 2024. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v12i2.16758>

RANGEL, J.H. de A., MUNIZ, E.N. SOUZA, S.F.de *et al.* “Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia”. In: Skorupa, L.A., Manzatto, C.V. (eds) *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos*, Cap. 5, Brasília, DF, Embrapa, pp. 164-191, 2019.

RANGEL, J.H.A., MORAES, S.A., TONUCCI, R.G. *et al.* “Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: uma análise temporal de sua utilização no Semiárido brasileiro”, **Revista Científica de Produção Animal** v. 22, n. 2, pp. 81-89, 2020. DOI: 10.5935/2176-4158/rCPA.v22n2p81-89

RATHMANN, R. *et al.* **Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no acordo de Paris**. Brasília, DF,

Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)/ONU, 64 p., 2017.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**. N. York, USA: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T.L. “Highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process”, **European Journal of Operational Research** v. 74, n. 3, pp. 426-447, 1994. ISSN 0377-2217, DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90222-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90222-4).

SAATY, T.L. “Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary”, **European Journal of Operational Research** v. 145, n.1, pp. 85–91, 2003.

SAATY, T.L. **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks**. Pittsburgh, USA, RWS Pub., 343p., 2005.

SAHANI, N. “Application of hybrid SWOT-AHP-FuzzyAHP model for formulation and prioritization of ecotourism strategies in Western Himalaya, India”, **International Journal of Geoheritage Parks** v. 9, n. 4, pp. 349–362, 2021. DOI: 10.1016/j.ijgeop.2021.08.001

SALLES, R.P., PORTUGAL, A.F. MOREIRA, J.A.A *et al.* “Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido”, **Revista Ciência Agronômica** v. 47, n. 3, pp. 429-438, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160052>

SAMPAIO, E.V.S.B., SAMPAIO, Y.S.B., MENEZES, R.S.C. *et al.* “Uso e ocupação das terras semiáridas: um resgate histórico e perspectivas de médio e longo prazo”. In: Giongo, V., Angelotti, F. (eds), *Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira*, 1 ed., Cap. 1, pp. 9-24, Brasília, DF, Brasil, Embrapa, 2022.

SANGABRIEL-CONDE, W., NEGRETE-YANKELEVICH, S., MALDONADO-MENDOZA, I.E. *et al.* “Native maize landraces from Los Tuxtlas, Mexico show varying mycorrhizal dependency for P uptake”, **Biology and Fertility of Soils** v. 50, pp. 405–414, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0847-x>  
SANTANA NETO, J.A., CASTRO FILHO, E.S., ARAÚJO, H.R. de. “Potencial das cactáceas como alternativa alimentar para ruminantes no semiárido”, **Nutritime Revista Eletrônica** v. 12, n. 6, pp. 4426-4434, 2015.

SANTOS, A.N., SOARES, T.M., SILVA, E.F.F. *et al.* “Cultivo hidropônico de alface com água salobra e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE”, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 14, pp. 961-969, 2010b.

SANTOS, C.S.M., FREITAS, M.A.V, SILVA, N.F *et al.* “The role of rural credit policies in agricultural income generation in family farms in Pernambuco State, northeastern Brazil - spatial trend and future scenarios”, **Ciência Rural**, Santa

Maria, v. 53, n. 10, e20220261, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220261>

SARTORI, N., FATTIBENE, D. “Human security and climate change vulnerabilities in the Sahel”, **EuroMeSCo Policy Brief** v. 94, 2019.

SCHÄLER, J., ADDO, S., THALLER, G. *et al.* “Exploration of conservation and development strategies with a limited stakeholder approach for local cattle breeds”, **Animal** v. 13, n. 12, pp. 2922–2931, 2019. DOI:10.1017/S1751731119001447.

SENRA, P.M. de A., 2022. *Modelos de Negócio inclusivos para recursos energéticos distribuídos*. Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SEVILHA, A.C., SCARIOT, A., MATIAS, R.A.M. *et al.* **Projeto Bem Diverso Sustenta e Inova: integrando conservação e uso sustentável da biodiversidade às práticas produtivas de produtos florestais não madeireiros e sistemas agroflorestais em paisagens florestais de múltiplo uso e alto valor de conservação.** Brasília, DF, Brasil, Projeto Bem Diverso - Embrapa/Pnud/GEF, 2021. Disponível em: <http://www.bemdiverso.org.br/>

SHAJEDUL, I. “Evaluation of low-carbon sustainable technologies in agriculture sector through grey ordinal priority approach”, **Science Insight - International Journal of Grey Systems** v. 1, n. 1, pp. 5–26, 2021. DOI: 10.52812/ijgs.3

SHIFERAW, B., PRASANNA, B.M., HELLIN, J. *et al.* “Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security”, **Food Security** v. 3, pp. 307-327, 2011. DOI: 10.1007/s12571-011-0140-5

SIGNOR, D., MEDEIROS, T.A.F., MORAES, S.A.D. *et al.* “Soil greenhouse gases emissions in a goat production system in the Brazilian semiarid region”, **Special Supplement: Climate Change in Agriculture, Pesquisa Agropecuária Tropical Goiânia** v. 52, e72371, 2022.

SILVA, I.M., ARAKAKI, K.K. “Carbono florestal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta”, **Revista de Política Agrícola**, v. 4, pp. 91-105, 2012.

SILVA, J.M.C., BARBOSA, L.C.F.; LEAL, I.R. *et al.* “The Caatinga: understanding the challenges”. In: Silva, J.M.C., Leal, I.R., Tabarelli, M., (eds) *Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America*. Springer International Publishing, pp. 3-19, 2017.

SILVA, M.V., PANDORFI, H., LOPES, P.M.O. *et al.* “Pilot monitoring of Caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture and livestock in the Brazilian semiarid”, **Remote Sensing Applications: Society and Environment** v. 19, e100353, 2020.

SILVA, J.H.C.S., BARBOSA, A.S., ARAÚJO, M.B. *et al.* "Indicadores qualitativos do ambiente edáfico e serviços ecossistêmicos em diferentes sistemas de ocupação da terra", **Nativa** v. 9, n. 5, pp. 519-527, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i5.13079>

SILVA, R.M.A. "Território das secas e da convivência: Trajetórias socioeconômicas e políticas da resistência sertaneja no Semiárido brasileiro". In: Giongo, V., Angelotti, F. (eds), *Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira*, 1 ed., Cap. 2, pp. 25-48, Brasília, DF, Brasil, Embrapa, 2022.

SILVA, B.F., RODRIGUES, R.Z.S., HEISKANEN, J. *et al.* "Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil", **Ecological Informatics**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102192>

SOCOLOWSKY, F., VIEIRA, D.C., SOUZA, B.R. *et al.* "Restoration in Caatinga: a proposal for revegetation methods for the most exclusive and least known ecosystem in Brazil", **Multequina** v. 30, n. 2, pp. 247-263, 2021.

STADEL, C. "Horizontal and Vertical Archipelagoes of Agriculture and Rural Development in the Andean Realm", **Sustainability Assessment in the 21st century. IntechOpen**, 2019. DOI: 10.5772/intechopen.86841

SU, M., JIANG, R., LI, R. "Investigating Low-Carbon Agriculture: Case Study of China's Henan Province", **Sustainability** v. 9, 2295, 2017. DOI: 10.3390/su9122295.

SUDENE. **Resolução nº 107**, de 27 de julho de 2017. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 176, n. 1, pp. 48, 2017. [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19287874/do1-2017-09-13-resolucao-n-107-de-27-de-julho-de-2017-19287788](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19287874/do1-2017-09-13-resolucao-n-107-de-27-de-julho-de-2017-19287788)

SUELA, A.G.L., SUELA, G.L., CARLOS, S. de M. "Fatores que influenciam a recuperação de pastagens degradadas pelos agricultores da Bacia hidrográfica do Rio das Contas", **Revista de Economia e Agronegócio - REA** v. 21, n. 1, 2023. ISSN impresso: 1679-1614; ISSN online: 2526-5539.

TABARELLI, M., LEAL, I.R., SCARANO, F.R. *et al.* "The Future of the Caatinga". In: Silva, J.M.C. da I., Leal, R., Tabarelli, M. (eds), *Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America*, Springer International Publishing, pp. 461–474, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-68339-3\_19

TABARELLI, M., LEAL, I.R., SCARANO, F.R. *et al.* "Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade", **Ciência e Cultura** v. 70, n. 4, Oct./Dec. 2018. ISSN 2317-6660 DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>

TAVARES, B.G., GUIMARÃES, G.P., ANTUNES, V.Z. **Panorama dos Municípios**

**Prioritários.** Relatório Técnico. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2020a.

TAVARES, B.G. GUIMARÃES, G.P. ANTUNES, V.Z. **Tecnologias Agrícolas de Baixa Emissão de Carbono no Brasil e no Bioma Caatinga.** Relatório Técnico. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2020b.

TAVARES, B.G. GUIMARÃES, G.P. ANTUNES, V.Z. **Tecnologias de Agricultura de Baixo Carbono, Tecnologias Sociais, Assistência Técnica, Extensão Rural e Financiamento da Agricultura de Baixo Carbono na Caatinga - Análise Transversal.** Relatório Técnico. Projeto Rural Sustentável Caatinga (PRS Caatinga). Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2020c.

TEODORO, R.B., OLIVEIRA, F.L. de, SILVA, D.M.N. da *et al.* “Leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na Caatinga Mineira”, **Revista Ciência Agronômica** v. 42, n. 2, pp. 292-300, abr-jun 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000200006>

THORTON, P.K., HERRERO, M. “Adapting to climate change in the mixed crop and livestock farming systems in sub-Saharan Africa”, **Nature Climate Change** v. 5, pp. 830-836, 2015. DOI: 10.1016/j.gfs.2014.02.002

TOLMASQUIM, M.T., SENRA, P.M.A., GOUVÉA, A.R. *et al.* “Strategies of electricity distributors in the context of distributed energy resources diffusion”, **Environmental Impact Assessment Review** v. 84, 106429, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106429>

TORRES, M.G., SORIANO, R., PERALTA, J.J. *et al.* “Challenges of livestock: climate change, animal welfare and agroforestry”, **Large Animal Review** v. 26, n. 1, pp. 39-45, 2020.

TOWSE, A., BARNSLEY P. “Approaches to identifying, measuring, and aggregating elements of value”, **International Journal of Technology Assessment in Health Care** v. 29, n. 4, pp. 360-364, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266462313000524>

TRANCHIDA-LOMBARDO, V., CIGLIANO, R.A., ANZAE, A. *et al.* “Whole genome resequencing of two Italian tomato landraces reveals sequence variations in genes associated with stress tolerance, fruit quality and long shelf-life traits”, **DNA Research** v. 25, n.2, pp. 149–160, 2018.

UNFCCC FCCC / CP / 2021/12. COP-26. **Report of the Conference of the Parties on its twenty-sixth session, held in Glasgow from 31 October to 13 November 2021.** In: Part one: Proceedings, Glasgow, Escócia, 2021, UNFCCC, 2022, pp. 1-26. Disponível em: <https://unfccc.int/conference/glasgow-climate-change-conference-october-november-2021>

- VELLOSO, A.L., SAMPAIO, E.V.S.B., PAREYN, F.G.C. “Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga”, Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental; The Nature Conservancy do Brasil, 2002.
- VIDIGAL, P., ROMEIRAS, M.M., MONTEIRO, F. “Crops Diversification and the Role of Orphan Legumes to Improve the Sub-Saharan Africa Farming Systems”. In: Hasanuzzaman, M., Teixeira Filho, M.C.M., Fujita, M. *et al.* (eds), *Sustainable Crop Production*, IntechOpen, pp. 45-60, 2019. DOI: 10.5772/intechopen.88076
- VILAR, M., CARVALHEIRO, K. **Tecnologias de Baixo Carbono: Manejo Sustentável de Florestas Nativas.** V. 5. Projeto Rural Sustentável. BID. Brasília, DF, Brasil, 10p, 2016.
- VINHOLIS, M.M.B., SOUZA FILHO, H.M., SHIMATA, I. *et al.* “Economic viability of a crop-livestock integration system”, **Ciência Rural** v. 51, n. 2, e20190538, 2021. DOI: 10.1590/0103-8478cr20190538
- VOROBIEV, P., HOLOWNIA, M., KRASNOVA, L. “Multi- criteria decision analysis (MCDA) and its alternatives in health technology assessment”, **Journal of Health Policy & Outcomes Research** v. 1, pp. 34-43, 2015. DOI: 10.7365 / JHPOR.2015.1.4
- WHEELDON, J., AHLBERG, M. “Mind Maps in Qualitative Research”. In: Liamputpong, P. (ed.), *Handbook of Research Methods in Health Social Sciences*. Singapore, Springer, pp. 1113-1129, 2019.
- WRIGHT, H., VERMEULEN, S., LAGANDA, G. *et al.* “Farmers, food and climate change: ensuring community-based adaptation is mainstreamed into agricultural programmes”, In: Community-based adaptation. Routledge, 2017. p. 40-50, 2014. DOI: 10.1080/17565529.2014.965654
- WU, J.J., GENG, G.P., ZHOU, H.K. *et al.* “Global vulnerability to agricultural drought and its spatial characteristics”, **Science China Earth Sciences** v.60, n.5, pp. 910–920, 2017. DOI: 10.1007/s11430-016-9018-2
- XIONG, C., YANG, D., HUO, J. *et al.* “The relationship between agricultural carbon emissions and agricultural economic growth and policy recommendations of a Low-carbon agriculture economy”, **Polish Journal of Environmental Studies** v. 25, n. 5, pp. 2187-2195, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/63038>
- YAVUZ, F., BAYCAN, T. “Use of swot and analytic hierarchy process integration as a participatory decision making tool in watershed management”, **Procedia Technology** v. 8, pp. 134–143, 2013.
- YUAN, L., LIU, Y., HE, H. *et al.* “Effects of long-term no-tillage and maize straw mulching on gross nitrogen transformations in Mollisols of Northeast China”, **Geoderma** v. 428, 116194, 2022. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116194

YUSUF, R.O., NOOR, Z.Z., ABBA, A.H. *et al.* "Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 16, pp. 5059- 5070, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.008>

ZHANG, N., CHEN, X., HAN, X. *et al.* "Responses of microbial nutrient acquisition to depth of tillage and incorporation of straw in a Chinese mollisol", **Frontiers in Environmental Science** v. 9, 737075, 2021. DOI: 10.3389/fenvs.2021.737075

ZHOU, W., HE, J., LIU, S. *et al.* "How Does Trust Influence Farmers' Low-Carbon Agricultural Technology Adoption? Evidence from Rural Southwest, China", **Land** v. 12, n. 2, 466, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12020466>

ZIERLER, J., SCHMALZI, L., HARTMANN, G. *et al.* "The role of water as a significant resource in UGGps results of an international workshop", **International Journal of Geoheritage and Parks** v. 11, n. 2, pp. 286-297, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2023.03.004>

ZUGASTI-LÓPEZ, J., CAVERO, I., CLAVERÍA, J. et al. "Alternatives to maize monocropping in Mediterranean irrigated conditions to reduce greenhouse gas emissions", **Science of The Total Environment** v. 912, 169030, 2024.

## ANEXO

**ANEXO 1** - Lista espécies vegetais - nome popular e científico e as TecABC indicadas.

Nome Popular	Nome Científico	TecABC
<b>abóbora, jerimum</b>	<i>Cucurbita sp.</i>	ILPF, SPD, RAD-F
<b>abobrinha</b>	<i>Cucurbita pepo</i>	ILPF
<b>acácia australiana</b>	<i>Acacia mangium, A. auriculiformes</i>	ILPF
<b>acerola</b>	<i>Malpighia emarginata</i>	ILPF
<b>albízia-guachapele</b>	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	RAD-F
<b>alface americana</b>	<i>Lactuca sativa var. crispa</i>	RAD-F
<b>alfazema-brava</b>	<i>Hyptis suaveolens</i>	MSF
<b>algaroba</b>	<i>Prosopis juliflora</i>	ILPF, MSF
<b>algodão</b>	<i>Gossypium sp.</i>	ILPF
<b>ameixa</b>	<i>Ximenia americana</i>	ILPF
<b>amendoim</b>	<i>Arachis hypogaea</i>	ILPF
<b>amendoim forrageiro</b>	<i>Arachis pintoi</i>	FBN
<b>angico</b>	<i>Anadenanthera macrocarpa, Anadenanthera colubrina</i>	FBN, ILPF, RAD-F, RAD-P, Alimentação
<b>angico-de-bezerro</b>	<i>Piptadenia moniliformis</i>	MSF
<b>araticum</b>	<i>Annona crassiflora, Annona coriacea</i>	ILPF, Área Coletiva
<b>aroeira</b>	<i>Schinus terebinthifolius</i>	ILPF, MSF, RAD-F, Alimentação
<b>aroeira-do-sertão</b>	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	ILPF, MSF, RAD
<b>arroz</b>	<i>Oryza sativa</i>	FBN, RAD-F
<b>ateira</b>	<i>Annona squamosa</i>	ILPF
<b>aveia</b>	<i>Avena sativa</i>	SPD
<b>babaçu</b>	<i>Orbignya phalerata</i>	ILPF, MSF
<b>banana</b>	<i>Musa sp.</i>	ILPF
<b>baraúna</b>	<i>Schinopsis brasiliensis</i>	MSF, RAD-P, RAD-F, Alimentação
<b>batata</b>	<i>Solanum tuberosum</i>	ILPF
<b>batata-doce</b>	<i>Ipomoea batatas</i>	ILPF
<b>beldroega</b>	<i>Portulaca oleracea</i>	Alimentação
<b>braquiária</b>	<i>U. brizantha cv. Marandú</i>	MSF, Alimentação
<b>braquiária-decumbens</b>	<i>Brachiaria decumbens</i>	ILPF
<b>bredo</b>	<i>Amaranthus sp.</i>	MSF, Alimentação
<b>bromélia-macambira</b>	<i>Bromelia laciniosa</i>	MSF
<b>buriti</b>	<i>Mauritia flexuosa</i>	ILPF, MSF
<b>caçatinga</b>	<i>Croton argyrophylloides</i>	ILPF, RAD-F
<b>cajá, umbu-cajá</b>	<i>Spondias mombin</i>	ILPF, MSF
<b>cajarana</b>	<i>Cabralea canjerana</i>	ILPF

<b>caju, cajueiro</b>	<i>Anacardium occidentale</i>	ILPF, RAD-F, Área Coletiva
<b>calopogônio</b>	<i>Calopogonium mucunoides</i>	FBN
<b>calumbi</b>	<i>Mimosa arenosa</i>	MSF
<b>camaratuba</b>	<i>Cratylia mollis; Cratylia argentea</i>	ILPF, MSF
<b>cana-de-açúcar</b>	<i>Saccharum officinarum</i>	FBN
<b>caneleiro</b>	<i>Cenostigma macrophyllum</i>	RAD-F
<b>canola</b>	<i>Brassica napus</i>	SPD
<b>capa-carneiro</b>	<i>Melochia tomentosa</i>	MSF
<b>capim</b>	<i>Tripogon spicatus</i>	SPD, RAD-P, ILPF, MSF, Alimentação
<b>capim-andropogon</b>	<i>Andropogon gayanus cv. Planaltina</i>	ILPF, MSF
<b>capim-braquiarão</b>	<i>Urochloa brizantha syn. Brachiaria brizantha</i>	ILPF
<b>capim-buffel</b>	<i>Cenchrus ciliates</i>	ILPF, MSF, RAD-P, Alimentação
<b>capim-colonião</b>	<i>Panicum maximum</i>	ILPF, MSF, Alimentação
<b>capim-corrente</b>	<i>Urochloa mosambicensis</i>	MSF, RAD-P
<b>capim-elefante</b>	<i>Pennisetum purpureum</i>	FBN, MSF, RAD-P
<b>capim-gramão</b>	<i>Cynodon dactylon cv. Callie</i>	MSF, RAD-P
<b>milhã</b>	<i>Brachiaria plantaginea, Panicum sp., Panicum maximum cv. Mombaça</i>	MSF
<b>capim-massai</b>	<i>Megathyrsus maximus</i>	MSF, ILPF
<b>capim-panasco</b>	<i>Aristida setifolia</i>	MSF
<b>capim-pangola</b>	<i>Digitaria decumbens</i>	ILPF
<b>capim-rabo-de-raposa</b>	<i>Setaria sp.</i>	MSF
<b>capim-urocloa</b>	<i>Urochloa sp.</i>	RAD-P
<b>carnaúba</b>	<i>Copernicia prunifera</i>	ILPF, RAD-F, MSF
<b>catingueira/pau-de-rato/caatinga-de-porco</b>	<i>Poincianella pyramidalis, Caesalpinia bracteosa</i>	ILPF, MSF, RAD-F, RAD-P, FBN, Alimentação
<b>catuaba</b>	<i>Erythroxylum vacciniifolium</i>	RAD-F
<b>cebola</b>	<i>Allium cepa</i>	MDA
<b>cenoura</b>	<i>Daucus carota subsp. sativus</i>	MDA
<b>centeio</b>	<i>Secale cereale L.</i>	SPD
<b>centrosema</b>	<i>Centrosema sp.</i>	MSF
<b>cevada</b>	<i>Hordeum vulgare</i>	SPD
<b>coração-de-nego</b>	<i>Schinopsis brasiliensis, Poecilanthe parviflora, Poecilanthe parviflora</i>	MSF
<b>couve, repolho</b>	<i>Brassica sp.</i>	MDA
<b>crotalaria</b>	<i>Crotalaria juncea</i>	FBN

<b>cudzu tropical</b>	<i>Pueraria phaseoloides</i>	FBN
<b>erva-de-ovelha</b>	<i>Stylosanthes humilis</i>	MSF
<b>erva-sal</b>	<i>Atriplex nummularia</i>	ILPF
<b>eucalipto</b>	<i>Eucalyptus urograndis</i>	ILPF, RAD-F, MDA
<b>facheiro</b>	<i>Pilosocereus pachycladus</i>	MSF
<b>faveira-de-bolota</b>	<i>Parkia platycephala</i>	ILPF
<b>faveleira, favela</b>	<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	ILPF, MSF, RAD-F, RAD-P, Alimentação
<b>feijão-bravo</b>	<i>Capparis flexuosa</i>	ILPF
<b>feijão-caupi, feijão-de-corda, feijão-branco-de-corda</b>	<i>Vigna unguiculata</i>	FBN, ILPF
<b>feijão-comum</b>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	ILPF
<b>feijão-de-ananta</b>	<i>Phaseolus lunatus</i>	FBN, ILPF
<b>feijão-de-porco</b>	<i>Canavalia ensiformis</i>	FBN, ILPF
<b>feijão-de-rola</b>	<i>Phaseolus patyróides</i>	ILPF
<b>feijão-de-rolinha</b>	<i>Macroptilium lathyroides</i>	FBN
<b>feijão-guandu, andu</b>	<i>Cajanus cajan</i>	ILPF, FBN, MSF
<b>feijão-trivicia</b>		ILPF, FBN
<b>gergelim</b>	<i>Sesamum indicum</i>	ILPF
<b>girassol</b>	<i>Helianthus annuus</i>	FBN, SPD, ILPF
<b>gliricídia</b>	<i>Gliricidia Sepium</i>	FBN, ILPF, MSF, Alimentação
<b>goiaba</b>	<i>Psidium guajava</i>	ILPF
<b>imburana</b>	<i>Amburana cearensis</i>	ILPF
<b>incó, icó</b>	<i>Capparis yco, Neocalyotroclyx longifolium</i>	ILPF, MSF, RAD-F
<b>inhame</b>	<i>Dioscorea sp.</i>	ILPF
<b>ipê-amarelo, caraíba</b>	<i>Tabebuia caraiba, Cordia calocephala, C. insignis</i>	RAD-F
<b>jatobá</b>	<i>Hymenaea courbaril</i>	ILPF, MSF
<b>juazeiro</b>	<i>Ziziphus joazeiro</i>	ILPF, MSF, RAD-F, RAD-P, Alimentação
<b>jurema</b>	<i>Mimosa hostilis</i>	ILPF
<b>jurema-branca</b>	<i>Piptadenia stipulacea</i>	RAD
<b>jurema-preta</b>	<i>Mimosa tenuiflora</i>	ILPF, FBN, MSF, RAD-F, Alimentação
<b>jureminha</b>	<i>Desmantus pernambucanus</i>	FBN
<b>jurubeba</b>	<i>Solanum paniculatum</i>	RAD-F
<b>lã-de-seda, saco-de-velho</b>	<i>Calotropis procera</i>	MSF
<b>leucena</b>	<i>Leucaena leucocephala</i>	ILPF, FBN, MSF, Alimentação
<b>licuri, licurizeiro</b>	<i>Syagrus coronata</i>	ILPF, MSF, RAD-F, RAD-P

<b>macambira</b>	<i>Bromelia laciniosa</i>	MSF, Alimentação
<b>malva-almiscarada</b>	<i>Malva moschata</i>	MSF
<b>malva-branca</b>	<i>Sida cordifolia</i>	MSF
<b>mamão</b>	<i>Carica papaya</i>	ILPF
<b>mamona</b>	<i>Ricinus communis</i>	ILPF
<b>manda-pulão</b>	<i>Croton sp.</i>	MSF
<b>mandacaru, mandacaru-chaveiro</b>	<i>Cereus jamacaru</i>	ILPF, MSF, RAD-F, RAD-P
<b>mandioca, macaxeira</b>	<i>Manihot esculenta</i>	ILPF, MSF, MDA, RAD-F
<b>manga</b>	<i>Mangifera indica</i>	ILPF
<b>maniçoba, mandioca brava</b>	<i>Manihot pseudoglaziovii</i>	ILPF, MSF, RAD-F, RAD-P, MDA, Alimentação
<b>maracujá</b>	<i>Passiflora edulis</i>	ILPF, MSF, RAD-P, MDA
<b>maracujá-da-caatinga, maracujá-do-mato</b>	<i>Passiflora cincinnata</i>	ILPF, RAD-F
<b>marmeiro</b>	<i>Croton blanchetianus, Croton sonderianus</i>	ILPF, RAD-F, MSF
<b>mata-pasto-“peludo”</b>	<i>Senna uniflora</i>	MSF
<b>mata-pasto-liso</b>	<i>Senna obtusifolia</i>	MSF
<b>maxixe</b>	<i>Cucumis anguria</i>	ILPF, RAD-P
<b>melancia</b>	<i>Citrullus lanatus</i>	ILPF, MDA
<b>melão</b>	<i>Cucumis melo</i>	ILPF, MDA
<b>milheto</b>	<i>Pennisetum glaucum</i>	SPD, MSF, ILPF, Alimentação
<b>milho</b>	<i>Zea mays</i>	FBN, SPD, ILPF, MSF, RAD-F, RAD- P, MDA, Alimentação
<b>mofumbo</b>	<i>Combretum leprosum</i>	ILPF
<b>mogno-africano</b>	<i>Khaya ivorensis</i>	RAD-F
<b>moringa</b>	<i>Moringa oleifera</i>	ILPF, MSF
<b>mororó</b>	<i>Bauhinia cheilantha, Bauhinia forficata</i>	ILPF, MSF
<b>mucuna-preta</b>	<i>Mucuna aterrima</i>	FBN
<b>mulungu</b>	<i>Erythrina verna</i>	FBN
<b>murici</b>	<i>Byrsonima crassifolia</i>	ILPF
<b>nim</b>	<i>Azadirachta indica</i>	ILPF
<b>oticica</b>	<i>Licania rigida</i>	ILPF
<b>orelha-de-onça</b>	<i>Macroptilium martii</i>	FBN
<b>ouricuri</b>	<i>Syagrus coronata</i>	RAD-F
<b>palma, palma- forrageria</b>	<i>Opuntia cochenillifera; Opuntia ficus-indica</i>	ILPF, MSF, RAD-P, MDA, Alimentação
<b>palmatória</b>	<i>Tacinga palmadora</i>	MSF

<b>pau-branco</b>	<i>Auxemma oncocalyx</i>	ILPF
<b>pau-d'arco, ipê</b>	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	ILPF, RAD-F
<b>pau-fava</b>	<i>Senna macranthera</i>	RAD-F
<b>pau-ferro, jucá</b>	<i>Caesalpinia ferrea</i>	FBN, MSF, RAD-F
<b>pau-mocó</b>	<i>Luetzelburgia auriculata</i>	ILPF
<b>pequi</b>	<i>Caryocar brasiliense</i>	ILPF
<b>pereiro</b>	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	FBN, ILPF, Alimentação
<b>pinha</b>	<i>Annona squamosa</i>	ILPF
<b>pinhão-bravo</b>	<i>Jatropha mollissima</i>	RAD-F
<b>pitomba, pitombeira</b>	<i>Talisia esculenta</i>	ILPF
<b>pornúncia, pornunça, mandioca-forrageira (híbrido natural da mandioca)</b>	<i>Manihot esculenta</i>	MSF
<b>quebra-faca, quebra- facão</b>	<i>Croton conduplicatus</i>	MSF
<b>quiabo</b>	<i>Abelmoschus esculentus</i>	ILPF
<b>quixabeira</b>	<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	ILPF, RAD-F
<b>ruziziensis</b>	<i>Bachiaria rudiziensis</i>	RAD-P
<b>sabiá</b>	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	FBN, ILPF, MSF, RAD-F
<b>sabonete</b>	<i>Sapindus saponaria</i>	ILPF
<b>seriguela, ciriguela</b>	<i>Spondias purpurea</i>	ILPF
<b>sisal</b>	<i>Agave sisalana</i>	ILPF, MSF, RAD-P, Alimentação
<b>soja</b>	<i>Glycine max</i>	FBN, SPD, ILPF
<b>sorgo</b>	<i>Sorghum bicolor</i>	SPD, ILPF, MSF, RAD-P, Alimentação
<b>tomate</b>	<i>Solanum lycopersicum</i>	MDA
<b>trigo</b>	<i>Triticum aestivum</i>	FBN, SPD
<b>triticale (cereal híbrido de trigo e centeio)</b>	<i>triticale</i> ( $\times$ <i>Triticosecale</i> <i>Wittmack</i> )	SPD
<b>umbu, umbuzeiro</b>	<i>Spondias tuberosa</i>	ILPF, MSF, RAD-P, RAD-F, MDA
<b>umburana</b>	<i>Commiphora leptophloeos</i>	ILPF, RAD-F
<b>umburana-de-cambão</b>	<i>Bursera leptophloeos</i>	MSF
<b>unha-de-gato</b>	<i>Mimosa arenosa</i>	FBN
<b>uvaia</b>	<i>Eugenia uvalha</i>	RAD-F
<b>velame</b>	<i>Croton campestris</i>	MSF
<b>xique-xique</b>	<i>Pilosocereus gounellei</i>	MSF, RAD-P, RAD- F

Fonte: TAVARES et al., 2020b.