



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

**MAURO VAZ DA COSTA**

**ANÁLISE REGIONALIZADA DA IMPLEMENTAÇÃO DO  
REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.**

**SUMÉ - PB  
2021**

**MAURO VAZ DA COSTA**

**ANÁLISE REGIONALIZADA DA IMPLEMENTAÇÃO DO  
REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.**

Dissertação apresentada Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

**Orientador: Professor Dr. Salomão de Sousa Medeiros.**

**SUMÉ - PB  
2021**

C837a

Costa, Mauro Vaz da.

Análise regionalizada da implementação do reúso agrícola no Semiárido Brasileiro. / Mauro Vaz da Costa. - Sumé - PB: [s.n], 2021.

107 f.

Orientador: Professor Dr. Salomão de Sousa Medeiros.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

1. Agricultura periurbana. 2. Irrigação com água de reúso. 3. Reúso de água - agricultura. 4. Efluentes na agricultura. I. Medeiros, Salomão de Sousa. II. Título.

CDU: 628.32:631.67 (043.2)

**MAURO VAZ DA COSTA**

**ANÁLISE REGIONALIZADA DA IMPLEMENTAÇÃO DO  
REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.**

Dissertação apresentada Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Professor Dr. Salomão de Sousa Medeiros.**  
**Orientador – Instituto Federal da Paraíba - IFPB**

---

**Professor Dr. George Rodrigues Lambais.**  
**Examinador Externo – Instituto Nacional do Semiárido - INSA**

---

**Professor Dr. Paulo da Costa Medeiros.**  
**Examinador Interno – UATEC/CDSA/UFCG**

**Trabalho aprovado em: 25 de janeiro de 2021.**

**SUMÉ - PB**

Aos que conseguem enxergar, no uso racional da água, não apenas um modismo poético, mas sim, a essência de conservação da sua própria existência.

## **AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio para realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Profágua, em nível de Mestrado, na Categoria Profissional, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

À minha família pelo apoio incondicional ao longo desta caminhada, em especial à minha esposa Rejane Gomes, pelo frutuoso embate de ideias em torno das questões temáticas, durante todo o curso e aos meus filhos Helena e Guilherme pela compreensão das ausências e pelos incentivos quando foram necessários.

Aos funcionários, técnicos e professores que compõe a equipe de CDS/UFCG pela presteza no atendimento das necessidades discentes.

Aos colaboradores, especialmente Dogmar e D. Graça, por abrirem suas casas para alimentar nossos corpos, restaurando a alegria das nossas almas.

Aos bravos colegas, pela convivência, troca de experiências e apoio, cada um à sua maneira, tanto na tempestade quanto na bonança, especialmente ao colega Elias pelo compartilhamento, sempre proativo, de milhares de quilômetros de deslocamento.

À equipe da Coordenação Geral de Obras e Fiscalização – CGOF, do Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR, principalmente aos colegas Francinei Froz e Tiago Portela.

Aos professores e “mestres” Salomão Medeiros - pela paciência e dedicação em orientar este trabalho e Hugo Moraes – pelo acolhimento paternal, cuja dedicação foi determinante para chegarmos ao final desta caminhada.

Por fim, ao Universo pela sapiência de reger tão complexa orquestra, eivada de acordes desafinados e muitas vezes em desarmonia; pela oportunidade a mim conferida, de agregar um pouco de conhecimento sobre tão relevante tema.

“Precisamos nos preparar para a falta d’água e não adianta rezar. É preciso mudar a agricultura, construir a infraestrutura para o reúso da água, desenvolver usinas de dessalinização e usar a tecnologia para evitar vazamentos nas tubulações.

A água, por sua vez, é vista como algo que obtemos de graça, como o ar. Enquanto abirmos a torneira e a água estiver saindo, estará tudo bem. É preciso que os líderes enxerguem o problema e que o público seja educado a respeito da importância da água. É possível fazer isso no Brasil. Eu sei disso porque Israel vem fazendo há anos. O país tem a população que mais cresce no mundo, uma economia pujante e está na região mais seca do planeta. Mesmo assim, provê água para a população 24 horas por dia e produz todos os vegetais que consome. Israel chega a exportar água, sendo responsável por 10% do abastecimento da Jordânia.

Se a água for utilizada como uma forma de engajamento, ela pode ser, inclusive, um motivo para a resolução de conflitos. É o que Israel tem feito”.

(Seth M. Siegel, 2017).

## RESUMO

Ao considerar a água como bem limitado, essencial a existência e desenvolvimento da humanidade, torna-se indispensável consolidar uma nova ordem mundial, visando mitigar a relação desfavorável entre a velocidade de ciclagem da água e o crescimento da sua demanda. A presente pesquisa avaliou a prática do reúso agrícola enquanto estratégia de desenvolvimento ao Semiárido brasileiro, por meio de uma análise regionalizada, metodologicamente exploratória, a partir da coleta de informações de fontes secundárias, e testada sobre dois cenários distintos: o Cenário Vigente - considerado apenas a vazão do esgoto doméstico atualmente coletado e tratado e o Cenário Otimizado - considerando a coleta e tratamento, integral, da vazão de esgoto doméstico gerado nos municípios do Semiárido. Com uma disponibilidade de 5.624,90(l/s) de esgoto tratado no Cenário Vigente e 13.977,20(l/s) no Cenário Otimizado, os textos deixaram claro a viabilidade técnica e econômica de implementação de 320 Núcleos de Desenvolvimento de Agricultura Periurbana – NDAP's, distribuídos no entorno das Estações de tratamento de Esgotos – ETE's, possibilitando a implementação de 27.420,66 e 65.110,56 hectares de área irrigável, nos respectivos cenários. Sobre o aspecto econômico, a implementação do reúso agrícola perfaz nos cenários vigente e otimizado, uma valoração anual variando de R\$ 90,000,00 a R\$ 125.000,00 por hectare de área irrigada, sendo a valoração da renda local (VRL) e a valoração do tratamento de água (VTA), as variáveis mais significativas no cálculo da valoração do reúso agrícola. Assim, esta prática tem capacidade de alavancar a geração anual de até 200 mil empregos (diretos e indiretos), injetando cerca de R\$ 2,5 bilhões na renda familiar local e movimentando uma cadeia produtiva valorada em R\$ 8,08 bilhões, cujo impacto economicamente forte e socialmente relevante, o credencia enquanto estratégia válida, de desenvolvimento do Semiárido Brasileiro. Consoante com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a presente pesquisa tange as metas de garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos e assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.

**Palavras-chave:** Esgoto tratado. Balanço hídrico. Valoração econômica. Agricultura periurbana.

## RESUMEN

Al considerar el agua como un bien limitado, esencial para la existencia y el desarrollo de la humanidad, es fundamental consolidar un nuevo orden mundial, con el objetivo de mitigar la relación desfavorable entre la velocidad del ciclo del agua y el crecimiento de su demanda. La presente investigación evaluó la práctica de la reutilización agrícola como una estrategia de desarrollo para el semiárido brasileño, a través de un análisis regionalizado, metodológicamente exploratorio, basado en la recolección de información de fuentes secundarias, y probado bajo dos escenarios distintos: el Escenario Actual - considerado solo el flujo de aguas servidas domésticas actualmente recolectadas y tratadas y el Escenario Optimizado - considerando la recolección y tratamiento, integral, del flujo de aguas servidas domésticas generadas en los municipios de la Región Semiárida. Con una disponibilidad de 5.624,90 (l/s) de aguas residuales tratadas en el Escenario Actual y 13.977,20 (l/s) en el Escenario Optimizado, los textos dejaron clara la viabilidad técnica y económica de implementar 320 Centros de Desarrollo Agrícola Periurbano - NDAP's, distribuidas alrededor de las Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales - ETE's, permitiendo la implementación de 27.420,66 y 65.110,56 hectáreas de área irrigable, en los respectivos escenarios. En el aspecto económico, la implementación de la reutilización agrícola asciende a escenarios actuales y optimizados, una valoración anual que va de R \$ 90.000,00 a R \$ 125.000,00 por hectárea de área regada, con la valoración de la renta local (VRL) y la valoración del tratamiento de aguas (VTA), las variables más significativas en el cálculo de la valoración de la reutilización agrícola. Así, esta práctica tiene la capacidad de apalancar la generación anual de hasta 200 mil puestos de trabajo (directos e indirectos), inyectando alrededor de R \$ 2,5 mil millones en ingresos familiares locales y moviendo una cadena productiva valorada en R \$ 8,08 mil millones, cuya solidez económica y impacto socialmente relevante, lo acredita como una estrategia válida para el desarrollo de la región semiárida brasileña. Dependiendo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la presente investigación aborda los objetivos de garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos y garantizar patrones de producción y consumo sostenibles.

**Palabras clave:** Aguas residuales tratadas. Equilibrio hídrico. Valuación económica. Agricultura periurbana.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Comparação dos parâmetros de água de reúso destinadas à irrigação, por tipo de classe.....	34
Tabela 02 - Número de sedes municipais do Semiárido Brasileiro, e respectivas populações: urbana, rural e total.....	51
Tabela 03 - Abrangência do serviço de abastecimento de água da população urbana nos municípios do Semiárido Brasileiro.....	53
Tabela 04 - Abrangência do serviço de esgotamento sanitário da população urbana nos municípios do Semiárido Brasileiro.....	55
Tabela 05 - Segregação do esgotamento sanitário da população urbana nos municípios do Semiárido Brasileiro.....	57
Tabela 06 - Distribuição Quali-quantitativa das ETE's no Semiárido Brasileiro.....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABES** – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANA** – Agência Nacional de Águas
- CAGEPA** – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
- CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CDSA** – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido
- DRSAI** – Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado
- ETE** – Estação de Tratamento de Esgoto
- ETENE** – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste
- FAO** – Organização para Alimentação e Agricultura
- FUNASA** – Fundação Nacional de Saúde
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INSA** – Instituto Nacional do Semiárido
- IPA** – Instituto Pernambucano de Agricultura
- NBR** – Norma Brasileira
- NDAP** – Núcleo de Desenvolvimento de Agricultura Periurbana
- OMS** – Organização Mundial de Saúde
- PESAGRO** – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro
- RAS** – Reação de adsorção do sódio
- SAB** – Semiárido Brasileiro
- SABESP** – Empresa de Saneamento do Estado de São Paulo
- SANASA** – Empresa de Saneamento do município de Campinas/SP
- SNIS** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
- SUDENE** – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
- SUS** – Sistema Único de Saúde
- TABNET** – Ferramenta de Pesquisa de Dados
- UA** – Unidade Animal
- UFCG** – Universidade Federal de Campina Grande

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
3.1 ESGOTO SANITÁRIO .....	16
3.2 REÚSO DE ÁGUA .....	20
3.3 PANORAMA GLOBAL DA ÁGUA DE REÚSO .....	23
3.4 REÚSO AGRÍCOLA.....	27
3.5 IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO.....	30
3.6 FERTIRRIGAÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA DE REÚSO .....	33
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	37
4.2 ANÁLISE DA CONJUNTURA DO SANEAMENTO BÁSICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	40
4.3 ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁGUA RESIDUÁRIA DISPONÍVEL PARA REÚSO AGRÍCOLA .....	40
4.4 ESTIMATIVA DO INCREMENTO DE ÁREA IRRIGÁVEL EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA RESIDUÁRIA .....	41
4.5 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE MACRONUTRIENTES DISPONIBILIZADADA PELA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	43
4.6 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA IMPLEMENTAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA.....	43
4.7 VALORAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....	48
4.8 INVESTIGAÇÃO SOBRE O AMBIENTE INSTITUCIONAL, VISANDO IDENTIFICAR OS POSSÍVEIS ENTRAVES À EFETIVAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA.....	49

<b>5 RESULTADOS E DISCURSÕES</b> .....	50
5.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	50
5.1.1 Inserção Regional.....	50
5.2 PANORAMA DO SANEAMENTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....	50
5.2.1 Aspectos Populacionais.....	50
5.1.2 Abastecimento de Água.....	52
5.1.3 Esgotamento Sanitário.....	55
5.3 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA RESIDUÁRIA .....	58
5.3.1 Cenário Vigente – Quantificação .....	59
5.3.2 Cenário Otimizado – Quantificação .....	60
5.3.3 Análise Gráfica.....	60
5.3.4 Análise Comparativa .....	62
5.4 AGREGAÇÃO DE ÁREA IRRIGÁVEL .....	62
5.4.1 Cenário Vigente – Quantificação .....	63
5.4.2 Cenário Otimizado – Quantificação .....	64
5.4.3 Análise Gráfica.....	65
5.4.4 Análise Comparativa .....	67
5.5 AGREGAÇÃO DE MACRONUTRIENTES - VNS .....	67
5.5.1 Cenário Vigente – Quantificação .....	68
5.5.2 Cenário Vigente – Valoração .....	68
5.5.3 Cenário Otimizado – Quantificação .....	69
5.5.4 Cenário Vigente – Valoração .....	69
5.6 MODELO DE DESENVOLVIMENTO – ASPECTO TÉCNICO.....	69
5.6.1 Núcleos de Desenvolvimento de Agricultura Periurbana – NDAP’s .....	69
5.6.2 Estações de Tratamento de Esgoto – ETE’s.....	70
5.7 AGREGAÇÃO DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA (VPA) – ASPECTO ECONÔMICO.....	71

5.7.1 Cenário Vigente – Quantificação .....	73
5.7.2 Cenário Vigente – Valoração .....	73
5.7.3 Cenário Otimizado – Quantificação .....	75
5.7.4 Cenário Otimizado – Valoração .....	75
5.7.5 Análise Comparativa .....	77
5.8 AGREGAÇÃO DE RENDA LOCAL (VRL) – ASPECTO ECONÔMICO .....	78
5.9 DESONERAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA (VTA) – ASPECTO AMBIENTAL .....	79
5.10 DESONERAÇÃO DO SISTEMA DE SAÚDE PÚBLICA (VSP) – ASPECTO AMBIENTAL .....	80
5.11 VALORAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....	81
Os dados relativos à valoração do reúso agrícola foram sistematizados a partir das constantes da fórmula utilizada, em função dos dois cenários metodologicamente definidos, estando apresentados conforme a Figura 25: .....	81
5.11.1 Valoração considerando a VPA Milho .....	81
5.11.2 Valoração considerando a VPA Feijão .....	82
5.11.3 Valoração considerando a VPA Carne .....	83
5.11.4 Análise Gráfica .....	84
5.11.5 Análise Comparativa .....	87
5.12 FATORES CONDICIONANTES À PROPAGAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA .....	87
5.12.1 Ambiente Institucional .....	88
5.12.2 Aspectos Estruturais .....	88
5.12.3 Aspectos Sociais .....	90
5.12.4 Aspectos Econômicos .....	90
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE A – Produto Técnico Tecnológico – PPT/CAPES. ....</b>	<b>101</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As projeções apontam para um crescimento da atividade agrícola, da ordem de 60% nos próximos 30 anos com conseqüente aumento de 20% sobre a demanda de água, visando ao atendimento de uma população projetada para aproximadamente 10 bilhões de habitantes, o que indica a condição de crise hídrica global (EPA, 2012; VERIATO et al, 2015; CANTELLE; LIMA; BORGES, 2018, *apud* FERREIRA, et al, 2019).

Indubitavelmente, o desenvolvimento humano será determinado pela sua capacidade de compreender a água enquanto bem limitado, cuja ciclagem ocorre em velocidade inferior ao crescimento da sua demanda tornando-se, imprescindível, adotar modelos racionais de gestão capazes de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

Conforme Santos *et all* (2015), o reúso passa a figurar como importante recurso para se implementar políticas e estratégias de gestão dos recursos hídricos. Assim, torna-se oportuno romper o paradigma consumista em favor da gestão racional dos recursos hídricos, a exemplo da destinação dos recursos em função do grau de exigência dos respectivos usos. Ou seja, diversificar a matriz através da inserção de fontes de água de qualidade inferior para atendimento aos usos menos exigentes, atenuando a demanda sobre as águas de melhor qualidade, reservada aos usos mais nobres.

No entanto, a gestão racional dos recursos hídricos requer, ainda, esforço institucional no sentido de elevar a Política Nacional de Recursos Hídricos ao status de política de Estado, estrategicamente capaz de promover as mudanças estruturais, sociais e econômicas necessárias ao desenvolvimento do país.

No semiárido brasileiro a oferta de água para atendimento dos usos múltiplos está aquém da sua demanda, configurando um quadro de escassez hídrica naturalmente determinado pelas condições hidro climáticas da região.

Tal condição pode ser atenuada pelo emprego da técnica da irrigação, que visa ao fornecimento controlado de água às culturas, no momento e na quantidade necessária, proporcionando o aumento de produtividade, regularizando a oferta de alimentos e otimizando o uso dos solos, além da geração de empregos e renda.

O uso da irrigação, combinado com demais técnicas que promovam o aumento produtivo das culturas, reduzindo os impactos ambientais, consolidam o caminho ao desenvolvimento sustentável da agricultura (QUINTANA, CARMO; MELO, 2011).

Em decorrência das especificidades do regime pluviométrico, os cursos d'água do Semiárido constituem canais aluviais intermitentes com baixa capacidade de autodepuração e diluição de carga poluente não sendo, portanto, a descarga dos sistemas de tratamento de esgoto urbano, uma alternativa ambientalmente viável para a região.

Em contrapartida, existe uma fonte de água não convencional, permanente, atualmente não explorada - o esgoto doméstico, que se coletado e adequadamente tratado, pode ser utilizado como fonte de água e nutrientes em atividades agrícolas, minimizando assim os conflitos pelo uso da água e reduzindo os impactos ambientais decorrentes do lançamento de efluentes (MAYER, *et al.* 2019).

Nos termos de Bastos (2019) as perspectivas apontam para a utilização de efluentes tratados na agricultura, de forma economicamente viável, sanitariamente segura e ambientalmente sustentável em função da redução da carga poluente sobre os corpos hídricos – regionalmente reconhecidos como sendo de baixa capacidade de autodepuração, além da redução dos custos de tratamento de água para o abastecimento de populações situadas à jusante dos pontos de descarga.

Conforme Lara e Hernández (2003), a demanda agrícola pela água residual, advém da necessidade de regularidade da fonte de abastecimento, visando atenuar a sazonalidade, ao longo do ano. Perspectiva semelhante, aponta para a destinação do efluente tratado para o reúso agrícola, em função do apelo ambiental, cada vez mais fiscalizado pela população (OLIVEIRA, *et al.*, 2013).

Segundo Medeiros *et al* (2014), o Semiárido brasileiro produz cerca de 423,3 milhões de m<sup>3</sup> /ano, de esgoto bruto, os quais são coletados por uma rede de esgotamento sanitário com pouco mais de 8 mil quilômetros. Se comparada à rede de abastecimento de água, a rede de esgotamento sanitário é 6 vezes menor, evidenciando a ausência de investimentos e exposição de população ao risco de doenças.

Como dito por Souza *et al* (2012), as vantagens da utilização do reúso de efluente, vão além da economia decorrente do aporte de nutrientes ao solo, com progressivo aumento de fertilidade influenciando também, positivamente, na conservação

dos corpos hídricos. A fertirrigação, além de proporcionar o aumento de matéria orgânica no solo, agrega macronutrientes, como Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) além de micronutrientes como Cobre (Cu), Boro (B), Zinco (Zn) e Molibdênio (Mo), permitindo reduzir e até afastar a necessidade de adubação química, o que reflete economicamente no cultivo das culturas (VAN DER HOEK *et al.*, 2002).

As estações de tratamento de esgoto – ETE's podem proporcionar o desenvolvimento pontual de áreas irrigada no seu entorno, tanto na área rural quanto na zona periférica dos centros urbanos, conferindo segurança alimentar e agregando renda aos agricultores, através da disponibilidade hídrica necessária à produção familiar, além de proporcionar a melhoria do estado de saúde da população em função da redução da ocorrência de doenças, principalmente àquelas de veiculação hídrica.

O reúso agrícola evita o descarte direto do efluente tratado sobre os cursos d'água, reduzindo os custos do tratamento e preservando a qualidade da água e favorecendo a recarga dos aquíferos (MOSCOSO, 1993; CEPIS, 2004).

Nesse sentido, a análise regionalizada de implementação do reúso agrícola no Semiárido brasileiro, pode se traduzir em mudanças significativas sobre a qualidade de vida da população e, portanto, justifica-se pela oportunidade de identificação dos entraves, avaliação dos cenários e identificação dos possíveis impactos da sua implementação, configurando ferramenta de desenvolvimento regional, de fácil adoção enquanto política pública.

A presente pesquisa permeia os objetivos 6, 11 e 12 determinadas pela Agenda 2030, celebrada por 193 Estados-membros da ONU, em setembro de 2015, a qual estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, os ODS, traduzidos em 169 metas, para erradicar a pobreza e promover vida digna para todos, dentro dos limites do planeta.

Mediante as considerações até agora apresentadas, constitui-se como questão central de investigação da presente pesquisa: o reúso agrícola constitui estratégia viável ao desenvolvimento do Semiárido brasileiro?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o potencial de reúso agrícola enquanto estratégia de desenvolvimento regional, nas condições do Semiárido Brasileiro.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Estimar o volume de água residuária disponível para reúso agrícola;
- b) Estimar o incremento de área irrigável em função da disponibilidade de água residuária;
- c) Estimar a quantidade de macronutrientes disponibilizada pela água residuária;
- d) Identificar os principais impactos técnicos, econômicos e ambientais da aplicação do reúso agrícola;
- e) Promover a valoração do reúso agrícola no Semiárido brasileiro;
- f) Investigar o ambiente institucional, visando identificar os possíveis entraves à efetivação do reúso agrícola.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico da pesquisa, se destina à consolidação do embasamento técnico e científico a despeito da questão do reúso, através do levantamento do referencial teórico e da conceituação de aspectos relevante à compreensão do tema.

O referencial teórico foi construído a partir do levantamento bibliográfico, tendo como obras norteadoras, os livros “Reúso de Água” de autoria de Pedro Caetano Sanches Mancuso e Hilton Felício dos Santos e “Esgoto Sanitário” de autoria de Ariovaldo Nuvolari, além do arcabouço legal: leis, normas e portarias concernentes ao assunto, notadamente a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL,2005), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água e a Resolução nº 121/2010 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL,2010), que estabelece as diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal e a ABNT NBR 13969/1997, que tem por objetivo oferecer alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico, dentro do sistema de tanque séptico para o tratamento local de esgotos.

A abordagem apresenta o conjunto de dados e conhecimentos necessários à análise regionalizada de implementação do reúso agrícola no Semiárido brasileiro, objeto central desta pesquisa.

#### 3.1 ESGOTO SANITÁRIO

O saneamento básico é um direito universalmente reconhecido como essencial para a plena fruição da vida e de todos os outros direitos humanos. Dentre as vertentes do saneamento, o esgotamento sanitário constitui requisito essencial à saúde pública e à qualidade dos corpos hídricos. Sua ausência compromete a autoestima e o desenvolvimento social das populações afetadas.

Inerente ao processo de urbanização, o “esgotamento sanitário” aqui compreendido como sendo a coleta de águas servidas, vem sendo praticado desde a antiguidade, por várias civilizações, na medida das suas necessidades e do seu desenvolvimento tecnológico.

Segundo Eddy (1977), por volta de 3.750 anos a.C., já existiam estruturas designadas à coleta de águas servidas na Índia e na Babilônia, evidencia reforçada por Netto (1984), o qual relata a utilização de manilhas cerâmicas para esta finalidade, desde 3.100 a.C.

Os autores atribuem à ausência de esgotos, severas epidemias registradas na idade média, a exemplo da peste bubônica e da cólera, notadamente entre os séculos XIII e XIX e seguem explicando que o desenvolvimento do esgotamento sanitário foi impulsionado pela expansão populacional ocorrida na Europa, a partir de meados do século XIX e início do século XX, em decorrência da revolução industrial.

Neste cenário, a Inglaterra foi pioneira no desenvolvimento de pesquisas sobre saneamento, cujo fato marcante foi a comprovação científica da correlação entre a ocorrência de doenças e a qualidade da água, através de estudos realizados pelo cientista John Snow, em 1854. Já em 1914, foi construída na Inglaterra a primeira estação de tratamento de esgoto, denominada “Salford”, com vazão diária de 303m<sup>3</sup>/dia.

No Brasil, segundo o Instituto Trata Brasil, e disponível no endereço eletrônico: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2020/01/07/a-origem-do-saneamento-basico/>, o primeiro registro de saneamento no Brasil se deu pela escavação de um poço para abastecimento da cidade do Rio de Janeiro, em 1561, sendo que o primeiro sistema de abastecimento de água, propriamente dito – aqueduto do Rio Carioca em 1723 – cem anos após ser iniciado. No período Colonial, as manifestações estruturais de saneamento básico estavam restritas à drenagem de terrenos e edificação de chafarizes.

Segundo Hocman (1998), a atribuição de competência pela prestação dos serviços de saneamento foi delegada aos municípios, a partir da Constituição republicana de 1891. Contudo, as constantes epidemias ocorridas nas primeiras décadas do século XX demonstraram a fragilidade desse modelo de gestão localizada, em função das dificuldades políticas e econômicas, o que acenou para a necessidade de integração das esferas estaduais e federal, nas questões de saúde pública. Sobre o aspecto da atribuição de competência, tal situação foi reiterada na Constituição de 1934, em um quadro ainda mais agravado pelos problemas de infraestrutura, oriundos do processo de industrialização em curso, desde 1930.

A partir da década de 40, inicia-se o processo de comercialização dos serviços de saneamento e, conseqüentemente, o surgimento das autarquias de fomento tecnológico e financeiro, com destaque para o Serviço Especial de Saúde Pública (SESP).

Ainda segundo o autor, o legado da política de saneamento no Brasil teve seu início marcado pela instituição do Plano Nacional de Saneamento – PLANASA, em 1971, com o objetivo de ampliar o atendimento da população urbana, cujo arranjo institucional conferiu protagonismo às companhias estaduais de saneamento na prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Conforme Souza et al (2016), a titularidade dos serviços de saneamento foi definitivamente restituída aos municípios, a partir da Constituição de 1988, que agora gozam de incrível autonomia política e financeira, garantida formalmente pelos repasses financeiros da União. Contudo, somente a partir de 2017, com a sanção da “Lei do Saneamento” Lei Federal Nº 11.445 de 05 de janeiro os municípios conquistaram, efetivamente, a titularidade dos serviços de saneamento, cujas diretrizes estão definidas no Plano Nacional do Saneamento Básico (PLANSAB).

Na esteira dos registros históricos, pode-se concluir que a descoberta científica de 1854, foi o ponto de partida do processo tecnológico atualmente empregado na coleta e tratamento do esgoto sanitário.

Atualmente “esgoto sanitário” é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT 9648 (1986), como sendo o “despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”.

Embora este instrumento também tenha especificados os conceitos de esgoto doméstico - “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”; esgoto industrial - “despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos”; água de infiltração - “toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações”; e contribuição pluvial parasitária - “a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário”, todo este conjunto conceitual, é meramente denominado “esgoto” e seu volume varia em função dos costumes e hábito de consumo de cada população, admitindo-se uma taxa usual de 200 l/hab.dia (NUVOLARI, 2003).

A importância da caracterização do esgoto sanitário está diretamente associada à finalidade da sua destinação, vez que cada um dos usos subsequentes implicará em diferentes níveis de tratamento.

Nuvolari (2003), propõe uma composição para o esgoto de 99,9% de água e 0,1% de sólidos, dos quais 80% do volume desta fração correspondem à matéria orgânica: proteínas (40-60%), carboidratos (25-50%), gorduras e óleos (8-12%) e outros (ureia, surfactantes, fenóis, pesticidas, metais) e 20% de matéria inorgânica. Em função da prevalência da fração líquida, admite-se que o esgoto disponha de um comportamento de escoamento, semelhante ao da água.

De forma geral, o esgoto pode ser caracterizado por parâmetros físicos – sólidos totais, temperatura, cor, odor e turbidez; químicos – matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, pH, alcalinidade, cloretos, óleos e graxas e biológicos - bactérias, fungos, vírus, protozoários e helmintos.

Já os sistemas de esgotamento sanitário, conceituado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT 9648 (1986), como sendo o “conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente o esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro”, exercem a finalidade de assegurar a saúde pública e melhorar a qualidade de vida da população, através do controle e erradicação de doenças, principalmente as de veiculação hídrica, da preservação dos recursos hídricos e do desenvolvimento sócio econômico.

Sobre o aspecto técnico pode-se dizer que esses sistemas são essencialmente constituídos por: redes coletoras, interceptores e emissários, sifões invertidos e passagens forçadas, estações elevatórias de esgoto, estações de tratamento de esgoto e por fim, corpos receptores.

Existem diversas tecnologias disponíveis ao tratamento de esgotos, desde as mais simples com baixa ou as mais tecnificadas com altíssima eficiência. A determinação do modelo a ser adotado vai variar com as condições do local, a finalidade do tratamento, e da disponibilidade de recurso.

Conforme Von Sperling (2005), o tratamento de esgoto está estratificado em quatro níveis.

a) Tratamento Preliminar, de natureza eminentemente física, voltado à medição do volume de esgoto e proteção das estruturas subsequentes do tratamento-bombas

e tubulações, através das operações de gradeamento para remoção de sólidos grosseiros e sedimentação para retenção de areia.

- b) Tratamento Primário corresponde consiste na passagem lenta do esgoto, de forma a permitir a deposição física dos sólidos em suspensão, visando separá-los dos sólidos flutuantes a exemplo dos óleos e graxas os quais passarão por tratamento posterior.
- c) Tratamento Secundário, destinado à remoção da matéria orgânica, tanto a dissolvida quanto em suspensão, através da combinação da fase física – semelhante ao tratamento primário, associado a uma fase de degradação microbiológica, em função de um conjunto de reações bioquímicas. Essa fase microbiológica pode se dar através de lagoas de estabilização- tecnologia simples e de baixo custo operacional, elevada remoção de matéria orgânica e patógenos, indicada para regiões de clima tropical; filtros biológicos- tratamento aeróbio, caracterizado pela utilização de “camas de cultivo” formadas por mídias, normalmente plásticas que proporcionam o desenvolvimento de biomassa microbiana que vai atuar na estabilização da matéria orgânica, cuja eficiência dependerá do tempo de detenção do efluente; ou reatores anaeróbios, que são unidades hermeticamente anaeróbias de tratamento, normalmente compactas, com baixo consumo de energia e a baixa produção de lodo, tendo como desvantagem a geração de maus odores e a exigência de pós-tratamento.
- d) Tratamento Terciário, empregado na remoção de compostos não biodegradáveis, normalmente utilizado na busca de alcançar parâmetros normativos de lançamento de efluentes.

Conforme o nível de tratamento adotado, o efluente poderá apresentar uma considerável variação nos teores de Nitrogênio e Fosforo. Já o teor de Potássio se manterá praticamente constante, o que pode refletir no maior ou menor desenvolvimentos da cultura escolhida, a depender dos seus mecanismos de assimilação nutricional (MARA; CARNICROSS, 1990).

### 3.2 REÚSO DE ÁGUA

Planejar e executar técnicas de reúso alcançará, num futuro breve, o mesmo status de importância do processo criativo de inovação tecnológica, ou seja, chegará

um momento em que o processo de desenvolvimento tecnológico e a produção de bens de consumo, estarão limitados pela disponibilidade de recursos hídricos.

A implantação de sistemas de reúso e reciclagem de água, desde que possua viabilidade técnica e econômica, implica em significativos benefícios ambientais, seja por aumentar a oferta de água potável e disponível nos mananciais, ou por aumentar os níveis de tratamento dos efluentes líquidos, diminuindo os lançamentos nos corpos d'água. É importante ressaltar que, além dos benefícios ambientais, a implantação de sistemas de reúso apresenta também significativos impactos positivos em termos sociais e econômicos (BERNARDI, 2003).

Em concordância com Philippi Júnior (2003), o crescimento populacional e a diversificação das atividades humanas nos obrigam a pensar no equacionamento da relação oferta-demanda de água, e sugere a adoção de um efetivo sistema de gestão: “uma das alternativas que se tem apontado para o enfrentamento do problema é o reúso de água, importante instrumento de gestão ambiental do recurso água e detentor de tecnologias já consagradas para sua adequada utilização”.

Portanto, a técnica do reúso figura como uma das mais aplicáveis alternativas de mitigação da escassez de recursos hídricos, tanto nas regiões mais desenvolvidas quanto naquelas em que a escassez de água constitui fator limitante ao desenvolvimento e à própria sobrevivência.

Historicamente, agricultura e reúso de água estão intrinsecamente ligados, permeando o desenvolvimento das civilizações antigas em agrupamentos estabelecidos em torno de mananciais de água, sucedidos pelo desenvolvimento da agricultura. Contudo, à medida da ampliação desses agrupamentos, aumentava também a demanda e, conseqüentemente, a disputa pela água.

Place (1985), ao transcrever o versículo 15 da obra “Ousruta Sanghita” relacionada às leis médicas sântricas, de aproximadamente 2000 a.C, traduz a seguinte passagem: “É bom guardar a água em vasilhas de cobre, expô-la ao sol e filtrá-la em carvão”. Embora antigo, a passagem exprime, provavelmente, a primeira versão do processo de tratamento de água adotado até os dias atuais e, ao mesmo tempo, a primeira evidência técnica da possibilidade de reúso de água.

Em conformidade com Takeda (2009) no portal jurisway, em artigo sobre a evolução histórica do uso da água, disponível no endereço eletrônico: [https://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id\\_dh=1447](https://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=1447), acessado em 10/05/2020,

relata o pioneirismo da civilização romana em relação às obras hídricas e saneamento, e afirma “os romanos também desenvolveram dispositivos especiais de medição de consumo de água, os quais eram testados e lacrados, pagando-se uma taxa única por tal serviço. Além disso, desenvolveram dispositivos especiais de outorga para disciplinar os usos da água e criaram hidrômetros para medição do consumo de água, cujo controle, era feito por administradores públicos que promoviam já nessa época o uso racional da água e práticas de reúso, ao utilizarem água dos banhos públicos nas descargas das latrinas”.

A citação sinaliza para a recorrência histórica do reúso de água, enquanto estratégia de mitigação dos efeitos da escassez de recursos hídricos, experimentada à época, sendo este o mais forte registro cronológico da adoção da técnica de reúso de água.

Assim, fica evidente que o caráter disponibilidade de recursos hídricos, historicamente exerceu fator limitante ao desenvolvimento da humanidade, cabendo à atual civilização agregar sustentabilidade à escrita desta história.

A pesar de antigo, o conceito de reúso vem sendo constantemente aprimorado, em função da ampliação das suas finalidades de usos e da necessidade de estabelecimento de instrumentos regulatórios.

Westerhoff (1984), apresenta uma conceituação classificada para o reúso da água, em três categorias: reúso potável direto - quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável; reúso potável indireto - quando o esgoto, após tratamento, é disposto nos cursos de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subseqüentes captação, tratamento e, finalmente, utilização como água potável e reúso não potável – quando a reutilização está destinada a atividades consideradas “menos nobres”, que não exigem grau de potabilidade: agricultura, indústria, recreação e uso doméstico.

Em função da simplicidade este conceito vem sendo adotado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, tendo sido ampliado por Mancuso (2003), através da inclusão das atividades de manutenção de vazões; aquícultura e recarga de aquíferos subterrâneos, no rol das atividades utilizadoras do reúso não potável.

Enquanto Lavrador Filho (1987), conceitua reúso nos seguintes termos: “é o aproveitamento de águas utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade

humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original”, Mancuso (2003), conceitua reúso como sendo uma “tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau, dependendo dos fins a que se destina a água e de como ela tenha sido usada anteriormente”, apontando dificuldades em refinar este conceito, em função da indefinição temporal do momento, a partir do qual se admite a prática do reúso.

A regulamentação conceitual advém da Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, disponível em <http://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file>, define reúso de água como sendo a utilização de “esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não”.

Em seguida, a norma tipifica o reúso direto como sendo o uso planejado da água conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, para o atendimento das diversas finalidades.

Refletir a etimologia da palavra reúso “ato ou efeito de reusar”, torna compreensível o conflito existente entre os autores acerca da conceituação de reúso, vez que sob o aspecto prático torna-se impossível avaliar quantas vezes e a quais usos foi destinada, determinada porção de água.

A exemplo do abastecimento humano, torna-se praticamente impossível se falar em reúso, em virtude do grau de poluição dos corpos hídricos destinados a tal finalidade.

A fim de dirimir as controvérsias em torno da abordagem conceitual do reúso, adotar-se-á o conceito assumido pela ABES.

### 3.3 PANORAMA GLOBAL DA ÁGUA DE REÚSO

Em trabalho realizado por Postel (1997), sobre a escassez de água em escala mundial, foi constatada a existência de 26 países que abrigam mais de 260 milhões de habitantes, em condições de escassez de água, fator agravado pelo acentuado crescimento demográfico sobre essas regiões. Segundo a autora, seis dos nove países do Oriente Médio em condições de escassez tem projeção de duplicar suas populações, nos próximos vinte e cinco anos.

Segundo Veriato (2015), as previsões da Organização das Nações Unidas para o ano de 2050, apontam para um cenário de aumento da demanda hídrica de cerca

de 55%, puxada pelo setor industrial, geração de energia termoelétrica e usuários domésticos, cujo aumento vai gerar um déficit de água da ordem de 40%. Aponta ainda para o aumento do consumo de água pela agricultura irrigada, atualmente correspondente a 70 % de toda água doce disponível, precisará produzir globalmente 60% a mais de alimentos, e 100% a mais nos países em desenvolvimento.

Outro aspecto interessante, reside no fato de que 40% da população mundial habitam em bacias hidrográficas compartilhadas por dois ou mais países, o que aponta para o acirramento de conflitos pelo uso da água.

Conforme dados do National Research Council of the National Academies (2012), relativos ao ano de 2008, o volume mundial de água de esgoto sendo reutilizado era da ordem de 50 milhões m<sup>3</sup>/d, sendo 21 milhões m<sup>3</sup>/d (42%) de esgoto tratado utilizados em 43 países, tendo os Estados Unidos (EUA) como maior utilizador e 29 milhões m<sup>3</sup>/d (58%) de esgoto não tratado, usados principalmente para irrigação no México e na China. Em escala mundial o reúso já é aplicado como fonte potável de abastecimento, mediante adoção de técnicas que utilizam o solo como elemento filtrante, para posterior exploração (ESTIRAR..., 2003).

Segundo Melo (2019), em relação ao volume total de reúso de água, destacam-se a China, México e Estados Unidos, notadamente os Estados da Califórnia, Texas, Arizona e Flórida. Já ao se considerar o volume per capita de reúso de água, países como Kwait, Israel e Cingapura apresentam relevância. Contudo, em termos de tecnologia, Japão, Califórnia e Cingapura são as referências.

Segundo a autora, dados do relatório Global Water Market de 2011 da Global Water Intelligence, demonstram que o percentual de reúso em relação à produção total de efluentes domésticos é de 91% no Kwait, 85% em Israel, 35% em Singapura, 32% no Egito, 15% na Austrália, 14% nos Estados Unidos e na China, 12% na Síria, 11% na Espanha e 4% no México.

A cultura da abundância infinita do recurso água, tem dificultado o desenvolvimento da prática do reúso de água no Brasil. Embora o país detenha aproximadamente 10% de toda a disponibilidade de água doce do planeta, sua distribuição irregular confere a boa parte do território brasileiro, condições permanentes de escassez de água, notadamente na Região Nordeste.

Conforme a Agência Nacional de Águas (2018), "... a discussão sobre reúso de água no Brasil está sendo impulsionada pela necessidade de melhorar a

disponibilidade hídrica, principalmente no Nordeste e nos grandes centros urbanos brasileiros, onde o balanço hídrico quali-quantitativo é crítico, e pelo crescimento populacional e os efeitos das mudanças climáticas que tendem a aumentar a pressão sobre os recursos hídricos. Além disso, considera-se o fato de que o reúso de efluente sanitário tratado é uma alternativa comprovada para a melhoria da disponibilidade hídrica em certos contextos, e já em andamento no Brasil, embora ainda de maneira limitada”.

O Brasil já apresenta alguns casos de sucesso na prática do reúso industrial de água, normalmente formatados através de parceria entre as companhias de saneamento e o setor industrial: o projeto Aquapolo, tutelado pela Empresa de Saneamento do Estado de São Paulo (SABESP) em parceria com a BRK Ambiental, maior empreendimento para a produção de água de reúso industrial na América do Sul e quinto maior do mundo, visa ao abastecimento das indústrias do Polo Petroquímico de Capuava/SP; o Projeto COTEMINAS, tutelado pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), ambientalmente relevante pela eliminação da descarga de efluentes advindos da ETE Catingueira-Caiçara, município de Campina Grande sobre o Rio Paraíba, cuja água de reúso será empregada no arrefecimento de maquinários empregados na indústria têxtil de Campina Grande/PB; e o Projeto ETE Capivari II, tutelado pela Empresa de Saneamento do município de Campinas/SP (SANASA), o qual encaminha a água de reúso para reservação, podendo ser retirada por diferentes clientes a partir de caminhão pipa.

Segundo Lima (2018), os impactos do custo da água enquanto insumo do processo produtivo de vários segmentos da indústria- petróleo, petroquímica, celulose, mineração, siderurgia e têxtil são bastante significativos, o que tem levado as empresas a desenvolverem projetos em diferentes escalas, focados tanto na redução da pegada hídrica quanto na redução dos custos de produção, através da substituição da fonte de água tratada, pela água de reúso. Para se ter uma ideia, o volume anual de água de reúso utilizado pelas empresas Petrobrás e Raízen (bioenergia), corresponde ao consumo da população de uma cidade de aproximadamente, 750 mil habitantes.

Existe ainda no Brasil, um volume considerável de práticas de reúso não planejado, normalmente de natureza particular, cuja água é utilizada como fonte para irrigação, principalmente na região semiárida, em função da escassez hídrica.

Como descrito por Siegel (2017), na obra “Faça-se a Água”, o Estado de Israel sempre sofreu com a escassez hídrica. Fundado em 1948 e situado numa das regiões mais secas do mundo o país foi forçado a buscar soluções para o atendimento da demanda de água decorrente de uma grande explosão demográfica provocada, principalmente, pela imigração de sobreviventes do holocausto.

A resposta veio através da adoção de políticas públicas de aumento da disponibilidade de água na região, através de ações de infraestrutura hídrica, a exemplo da “Transportadora Nacional de Águas” – canal com aproximadamente 130km de extensão e capacidade de transpor grandes vazões (1,7 milhões de m<sup>3</sup>/dia), interligando o mar da galileia à região central do país, associado a ações tecnológicas relativas ao uso racional da água.

Em Israel o abastecimento humano abrange 100% do território do país, mesmo nas regiões mais desérticas, com índices de perdas inferiores a 9%, com meta de atingir 5%. Tal condição, confere vantagens competitivas ao país no tocante ao reúso, visto que todo o efluente advindo deste consumo é coletado e tratado, sendo que 90% deste volume é destinado ao reúso agrícola, em campos localizados no Deserto de Negev, região sul de Israel.

A maior contribuição em volume de água de reúso de Israel é oriunda da Estação de Tratamento de Águas Residuárias “Shafdan”, localizada na região metropolitana de Tel Aviv – segunda maior cidade de Israel e 100% da água reaproveitada. Com capacidade diária de tratar 370.000m<sup>3</sup>/dia, abrangendo as etapas física, químicas e biológicas, sua produção anual, de aproximadamente 135.000.000m<sup>3</sup> é destinada à recarga de aquíferos subterrâneos para posterior recuperação após conclusão do processo de filtração no solo – reúso não potável.

Segundo o autor, a crise é iminente, podendo atingir 1,5 bilhão de pessoas num futuro breve. Nesta perspectiva, pode-se valer do exemplo de um pequeno país, cujo território é 60% constituído de deserto e o restante é Semiárido, se tornou um exemplo mundial pela substituição do quadro de escassez para o de excedente em água, a ponto de permitir sua exportação, tanto direta - responsável por 10% do abastecimento da Jordânia, quanto indiretamente, através da exportação de uma farta carteira de alimentos: cereais, verduras, legumes, frutas e flores, principalmente destinados ao mercado europeu.

O eixo central do seu desenvolvimento tecnológico é a reutilização quase que integral do esgoto, através de sistemas de irrigação por gotejamento, que reduz o consumo de água em torno de 40% e as tecnologias de dessalinização das águas, permitindo a segurança hídrica e assegurando os usos múltiplos. No tocante ao uso racional das águas, fica o exemplo ao mundo, inclusive ao Brasil.

### 3.4 REÚSO AGRÍCOLA

Na relação antagônica do aumento de produção para atendimento da crescente demanda por alimentos e a necessidade de atenuar o impacto da participação do uso agrícola na matriz de consumo dos recursos hídricos, fica evidente a insuficiência dos mecanismos de mediação de conflitos ou de controle de oferta, enquanto estratégia de mitigação do déficit hídrico.

De acordo com ANA (2018), o agronegócio brasileiro é responsável por 81,6% de todo o consumo de água no Brasil, sendo 68,4% através da irrigação, 10,8% destinado à dessedentação animal e 2,4 absorvido pelo abastecimento rural. Nesse contexto, é iminente a necessidade de aumento da disponibilidade hídrica, principalmente na região Nordeste e nos grandes centros urbanos brasileiros, cujo balanço hídrico é deficitário, o que pode ser alcançado através da utilização do reúso de esgoto sanitário tratado, podendo-se atingir, um volume de reúso da ordem de 10 a 15 m<sup>3</sup>/s, num prazo de 5 a 10 anos, fazendo uso da atual infraestrutura existente.

Diante da restrição de áreas para expansão de fronteiras agrícola, o aumento da produção dar-se-á, obrigatoriamente pela utilização de fontes menos nobres como esgoto tratado no atendimento das atividades agrícolas, em substituição às águas de melhor qualidade, as quais seriam destinadas aos usos mais nobres, a exemplo do abastecimento humano.

Porquanto, é imprescindível a mudança de paradigma em torno de uma visão conservacionista de valoração da água sobre todos os setores da sociedade, através do reúso das águas de baixa qualidade – principalmente águas de drenagem e esgoto doméstico.

A disponibilidade de água no solo é o fator determinante ao desenvolvimento da agricultura, essencial ao metabolismo das plantas durante o processo fotossintético. Portanto, devem ser observados os requisitos que conferem segurança ao uso das águas residuárias, a exemplo dos parâmetros microbiológicos

estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde – OMS e físico-químicos estabelecidos pela Organização para Alimentação e Agricultura – FAO (SILVA, *et al.* 2008).

De maneira geral o esgoto sanitário apresenta composição de nutrientes, suficiente para o atendimento da demanda da maioria das culturas, possibilitando boas produtividades, sem gastos com fertilizantes. Contudo, a baixa exigência qualitativa da água para fins agrícolas não exime os agricultores de praticarem o adequado manejo entre economia e produtividade, a essa utilização, em decorrência dos riscos de salinidade – reduz a disponibilidade de água para as plantas, afetando seu desenvolvimento e fito toxicidade – acumulação de íons em concentração suficiente para inibir o desenvolvimento das culturas.

Além do aspecto nutricional, também não deve ser negligenciado o aspecto sanitário, vez que a qualidade do tratamento dado aos efluentes, constitui o fator limitante à utilização do esgoto doméstico, na agricultura irrigada (SOUZA & LEITE, 2003, p.59-63).

Em concordância com Nuvolari (2003), considerando uma contribuição de 175 litros de esgoto sanitário por habitante por dia e uma demanda de 1.500mm de lâmina anual de irrigação, constata-se que a cada 250 habitantes se produz um volume de água fertilizada, suficiente para a irrigação anual de 1 hectare de lavoura. Considerando-se ainda, a composição do efluente, pode-se atingir taxa de aplicação de nutrientes, correspondente a 425 kg de N/ha; 125 kg de P/ha e 300kg de K<sub>2</sub>O/ha. Outro benefício auferido pela utilização do esgoto tratado, advém do aporte de matéria orgânica ao solo, melhorando suas características físicas, químicas e biológicas.

Existe na literatura especializada, inúmeras afirmações de diversos autores acerca das vantagens econômicas e ambientais do reúso agrícola, além de vários estudos específicos de avaliação de produtividade envolvendo as espécies mais cultivadas (BERTONCINI *et al.*, 2017 / LUCENA *et al.*, 2018 / SANTINI *et al.*, 2015).

Em trabalho realizado por Souza *et al.* (2014) visando avaliar a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), irrigado com água residuária e diferentes doses de adubação (100, 75, 50, 25 e 0%), conforme recomendação de RAIJ *et al.* (1997) - sulfato de amônia: 20% de N e 24% de S; superfosfato simples: 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; cloreto de potássio: 60% de K<sub>2</sub>O e ureia: 45% de N - os resultados demonstraram a necessidade de equacionar a fertirrigação (esgoto tratado) e adubação química, pela

razão que os tratamentos com elevadas doses de adubação (100 e 75%) apresentaram diminuição de produtividade, devido ao aumento de salinidade. Os melhores resultados foram apresentados para fertirrigação + 25% da dose de adubação, produzindo 3.810 kg/ha e fertirrigação + 50% da dose, produzindo 3.640 kg/ha. O tratamento que recebeu exclusivamente fertirrigação apresentou produção de 2.610 kg/ha, compatível com a média de produção obtida na região semiárida – 2.300 a 2.500 kg/ha, para cultivos irrigados em sistema de adubação convencional.

O trabalho desenvolvido por Azevedo *et al.* (2007), promoveu uma análise comparativa da produção de milho (*zea mays*), irrigado com água de abastecimento (advinda da concessionária) e água residuária (esgoto tratado), na região de Campina Grande/PB. As parcelas tiveram uma adubação de base uniforme com P e K, fazendo-se variar a adubação nitrogenada nas dosagens de (0, 60, 90, 120 e 180 kg N/ ha), cujas fontes foram: superfosfato triplo, cloreto de potássio e sulfato de amônio. Os resultados mostraram aumento linear na produção de milho, a partir da dosagem de 90 kg de N/ha e que os índices de produtividade dos tratamentos que utilizaram água residuária foram 144% superiores aos que utilizaram água de abastecimento, apresentando ainda, satisfatório incremento de cálcio, magnésio e potássio à cultura. Contudo, embora o efluente utilizado seja considerado de média salinidade, sua utilização requer cuidados, pois seu índice de sais foi 83% superior ao encontrado na água de abastecimento.

No trabalho de Silva (2015), intitulado “Cultivo de Milho Irrigado com Esgoto Doméstico Tratado no Semiárido Baiano”, investigou-se os parâmetros de produção do milho cultivado mediante aplicação de esgoto doméstico tratado, sob diferentes níveis de diluição (0, 25, 50, 75 e 100%) com água de abastecimento e diferentes lâminas de aplicação (60, 90, 120 e 150%), da evaporação do tanque classe A. Sobre o aspecto produtivo, os melhores resultados foram obtidos para a combinação dos percentuais de 75 -100% de diluição do efluente, combinado com lâmina de aplicação correspondente a 120% da evaporação. Nestas condições, a produção alcançada foi de 4.510 kg/ha de milho, da cultivar “catingueira”.

O outro exemplo, aplicado por Sousa, et al (2009), avaliou a produtividade do capim Tifton 85 (*Cynodon SSP*), irrigado com esgoto doméstico tratado. O experimento realizado no município de Aquiraz, Ceará foi instalado em área de Argissolo, com textura arenosa em cinco tratamento distintos: T1- água do poço com

lâmina de irrigação correspondente a 75% da evaporação do tanque Classe + adubação (30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ 30 kg K<sub>2</sub>O e 20 kg N/ha/ano); T2- esgoto tratado com lâmina de 132 mm/ano + adubação (150 kg N/ha/ano); T3- esgoto tratado com lâmina de 265 mm/ano + adubação (300 kg N/ha/ano); T4- esgoto tratado com lâmina de 530 mm/ano + adubação (600 kg N/ha/ano) e T5- esgoto tratado com lâmina de 1.061mm/ano + adubação (1.200 kg N/ha/ano). Os resultados demonstraram produtividade e produção de massa seca do capim Tifton 85 equivalentes entre os tratamentos T2 e T1.

No trabalho de Gomes *et al.* (2015), foi avaliada a produtividade do capim Tifton 85 em tratamentos irrigados e sequeiro de produção, sob diferentes níveis de adubação nitrogenada (0, 20, 40 e 60) kg/ha. Os resultados apontaram para uma produção de 39.279 kg/ms/ha/ano no tratamento irrigado e 27.826 kg/ms/ha/ano, no caso do tratamento de sequeiro, para níveis de adubação nitrogenada de 6kg/ha.

### 3.5 IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO

Indiscutivelmente, a prática do reúso agrícola está diretamente associada à irrigação, enquanto tecnologia capaz de mitigar os efeitos adversos do clima, mediante a deposição de água na quantidade e no momento certo ao desenvolvimento das plantas, durante todo o ano. Por esse motivo, mesmo que a irrigação esteja presente em apenas 18% das áreas agrícolas, as áreas irrigadas correspondem a 40% da produção mundial de alimentos (CHRISTOFIDIS, 2002).

Especificamente para o Semiárido brasileiro, a irrigação consiste numa prática auspiciosa para o desenvolvimento agrícola e para a produção de alimentos. Considerando o tipo de clima seco predominante na região e dada a definição de irrigação como o conjunto de técnicas destinadas a deslocar espacial ou temporalmente a água para seu uso em atividades agrícolas, esta técnica tem grande valor, no sentido de mitigar os efeitos adversos sobre a agricultura da distribuição irregular das chuvas na região (CASTRO, 2018).

O solo constitui o mais importante elemento de aplicação da técnica da irrigação, em função de constituir o substrato de desenvolvimento estrutural e produtivo das culturas, devendo ser manejado em estrita observância aos princípios da fertilidade e das técnicas de conservacionistas, visando preservar e melhorar suas

características físicas, químicas e microbiológicas, sob pena do insucesso da aplicação das técnicas de irrigação.

Conforme estudos de Medeiros *et al.* (2005), na comparação de um cultivo de café, irrigado com efluente tratado e filtrado em filtro de areia ou com água convencional, foi detectado que a irrigação com efluente tratado e filtrado impactou mais, positivamente sobre as características do solo, aumentando o pH, o teor de matéria orgânica e as concentrações de K, Ca e Mg. Contudo, ocorreu salinização do solo, em função da concentração de íons de Sódio; condutividade elétrica e RAS.

Em recente estudo publicado por Gama e Jesus (2020), os solos da região semiárida brasileira estão distribuídos, do ponto de vista da extensão territorial, em três classes predominantes: neossolos (27,32%); latossolos (25,94%); argissolos (15,59%), as quais totalizam 97,89%. Os dados da pesquisa foram gerados com base nos dados do Instituto Nacional do Semiárido (BRASIL, 2010).

Conforme Cunha, *et al.* (2010), as três referidas classes podem ser caracterizadas, conforme segue:

- a) Neossolos flúvicos ou aluviais - de ocorrência típica nas áreas de várzeas, planícies aluviais e terraços aluvionares, podendo variar de excessivamente a deficitariamente drenados, pouco susceptíveis à erosão e de alta aptidão agrícola em função da fertilidade;
- b) Neossolos litólicos – solos rasos, caracteristicamente pedregosos e de ocorrência ampla na região semiárida, notadamente sobre relevos mais movimentados, com baixa aptidão agrícola e ocorrência frequente de erosão laminar e em sulcos;
- c) Neossolos quartarênicos - tipicamente arenoso e bem drenados que apresentam coloração clara e de baixa fertilidade, de ocorrência comum em paisagens planas e pouco susceptíveis à erosão;
- d) Neossolos Regolíticos – solos pouco desenvolvidos, variando de pouco profundos a profundos, podendo ser arenosos ou não, de coloração acinzentadas e não hidromórfico, bastante utilizado para atividades agrícolas, em função da grande reserva de minerais primários, mediante adoção de práticas conservacionistas e elevação dos níveis de matéria orgânica;
- e) Latossolos - são solos profundos, tipicamente ácidos que apresentam textura variando de média a argilosa, normalmente encontrado nas colorações amarela e vermelha-amarela, baixos teores de matéria orgânica, com boa retenção e

disponibilidade de água e baixa fertilidade em seu estado natural. Os latossolos resguardam as atuais fronteiras agrícolas do país, estando sua exploração agrícola condicionada à correção de acidez e fertilidade;

- f) Argissolos - são solos de profundidade variando de média a profunda, coloração variando de vermelha a amarela, que apresentam textura arenosa ou média e baixos teores de matéria orgânica e alta suscetibilidade à erosão. Sua baixa fertilidade, associada às limitações de relevo quando ocorre em áreas mais acidentadas e a pedregosidade característica de algumas áreas de ocorrência, constituem fator limitante à sua utilização para práticas agrícolas.

Assim, mediante a diversidade de características físico-químicas dos vários tipos de solo, o sucesso da irrigação está intimamente condicionado ao manejo ajustado da relação solo-água-planta.

Estudos realizados pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) revelam que uma economia de 10% na irrigação seria o suficiente para abastecer por duas vezes a população mundial. A eficiência de irrigação, tomada como a razão entre a quantidade de água efetivamente usada pela cultura e a quantidade retirada da fonte. Se utilizada de forma racional, com eficiência na aplicação e otimização dos equipamentos utilizados, a irrigação poderia promover uma economia de aproximadamente 20 % da água e 30 % da energia consumida (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

Como toda técnica, a irrigação também precisa ser manejada, de forma a alcançar o mais alto grau de eficiência, através de um conjunto de equipamentos, softwares e também do acompanhamento in loco, visando fornecer tanto água quanto nutrientes, no caso da fertirrigação, na medida adequada para cada fase de desenvolvimento da cultura. A esse manejo, dar-se o nome de balanço hídrico.

Ante o exposto, fica latente a necessidade de fortalecimento da agricultura irrigada como estratégia de atendimento à demanda alimentar, mediante a modernização dos sistemas e métodos aplicados, visando ao aumento de produtividade, com redução da participação da irrigação na matriz de consumo.

Portanto, o presente aponta para a necessidade de investir em sistemas tecnificados de aspersão, a exemplo dos pivôs centrais e sistemas de irrigação localizada, como a micro aspersão e, principalmente o gotejamento, com eficiências

de aplicação variando de 70 a 90%, em substituição aos métodos primitivos de irrigação por superfície, aspersão convencional e auto propelida.

Nuvolari (2003), explica que a irrigação localizada está calcada na utilização de água filtrada administrada em pequenas vazões através de emissores de diâmetro reduzido, direcionados ao sistema radicular das plantas e instalados imediatamente acima, junto ou ligeiramente abaixo da superfície do solo, cujo tipo de emissor diferencia os tipos de irrigação localizada.

O autor segue explicando que o gotejamento é um sistema de alta eficiência na aplicação de água (90 – 95%) que trabalha com baixas vazões (1 – 10l/h) por gotejador, favorecendo a fertirrigação através da alocação pontualmente de água no sistema radicular. Já a micro aspersão, trabalha com vazões da ordem de (20 – 120l/h) por micro aspersores, formando pequenos círculos de área molhada junto ao pé das plantas, podendo-se utilizar sistemas de filtragem mais simples que os aplicados ao gotejamento, em função da maior pressão de serviço.

### 3.6 FERTIRRIGAÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA DE REÚSO

A fertirrigação corresponde à técnica de fertilização líquida das culturas, normalmente associada a sistemas de irrigação por gotejamento, cujos nutrientes podem ser ofertados tanto pela adição de fertilizantes quanto pela utilização de fontes de água fertilizadas, a exemplo do esgoto tratado.

De acordo com Borges (2007), produções economicamente rentáveis normalmente requerem o emprego de fertilizantes químicos e orgânicos, sendo a fertirrigação a prática mais eficientemente utilizada na agricultura irrigada, por reunir os dois fatores essenciais para o desenvolvimento das plantas, os nutrientes e a água.

Entretanto existem dois aspectos relevantes, sob a ótica sanitária, que devem ser considerados quanto a utilização da água de reúso na irrigação: o risco de contaminação direta e o de contaminação indireta. No primeiro caso os mais afetados são os próprios agricultores, em função da manipulação dessa água durante o processo produtivo, sendo a esquistossomose a ocorrência mais comum. Já o segundo caso tem um maior impacto, tanto pela severidade quanto pelo número de pessoas atingidas e decorre do consumo de alimentos *in natura* contaminados.

De acordo com Nuvolari (2003), “as limitações para a utilização de águas residuárias na agricultura de maneira alguma se apresentam como impeditivas, vez

que podem ser superadas por meio de manejo agrícola adequado, o que também é necessário na irrigação com águas limpas”.

Sobre o olhar da legislação, esse tema está atualmente resguardado pela Resolução Conama nº 357/2005, a qual estabelece as duas categorias de água permitidas para irrigação, sendo essas Águas Doces – Classe 1 e Águas Salobras - Classe 1, conforme demonstrado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Tabela comparativa dos parâmetros de água de reúso destinadas à irrigação, por tipo de classe.

<b>Parâmetro</b>	<b>Águas Doces</b>	<b>Águas Salobras</b>
Conceito	Apresentam salinidade < 5%.	Salinidade variando entre 5% e 30%.
Classificação	Classe 1 “mais restrita”, permitida à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem remoção de película e atende, sobre o aspecto geral.	Classe 1, destinadas à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.
Coliformes Termotolerantes	Não superior a 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, em 6 amostras, bimestralmente coletadas, durante 1 ano.	Não deverá ser excedido o valor de 200 coliformes termotolerantes por 100mL.
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO – 5,20)	Até 3 mg/L O <sub>2</sub>	-
Oxigênio Dissolvido (OD)	Em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L.	Em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L.
Turbidez	Até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT).	-
Carbono Orgânico	-	Até 3 mg/L.

Potencial Hidrogeniônico	Na faixa de 6,0 a 9,0.	Na faixa de 6,5 a 8,5.
--------------------------	------------------------	------------------------

**Fonte:** Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005.

O outro instrumento normativo é a NBR 13.969/2007 “Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação”, a qual designa à atividade de irrigação, a utilização de águas da classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, atendendo aos seguintes parâmetros: Coliforme fecal: inferior a 5.000 NMP/100 ml e Oxigênio dissolvido (OD): acima de 2,0 mg/L.

Ainda conforme a norma “Não deve ser permitido o uso, mesmo desinfetado, para irrigação das hortaliças e frutas de ramos rastejantes (por exemplo, melão e melancia). Admite-se seu reúso para plantações de milho, arroz, trigo, café e outras árvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação pelo menos 10 dias antes da colheita”.

De forma geral, considerando-se os parâmetros estabelecidos e objetivando a segurança ambiental e à saúde pública, para a utilização no reúso agrícola, é recomendável a utilização do processo de polimento dos efluente, através da instalação de lagoas de maturação, com foco na remoção da carga de organismos patogênicos.

Essas lagoas normalmente são inseridas após as lagoas facultativas ou Reatores Anaeróbio de Manta de Lodo de Fluxo Ascendente (UASB) em processos de tratamento que objetivam elevada eficiência na remoção de coliformes – indicador da remoção de carga bacteriana e viral e elevadíssima remoção de ovos de helmintos, seja para descarga do efluente tratado em corpos d'água, irrigação ou aquicultura.

Suas características construtivas de baixa profundidade, entre 0,8 m e 1,2 m; tempo de detenção hidráulica superior a 10 dias e taxa de aplicação de até 50 kg de matéria orgânica ao dia, reúnem as condições necessárias para uma alta atividade fotossintética decorrente da penetração da radiação solar, causando a elevação do pH em função e a penetração da radiação ultravioleta, principalmente nas camadas superiores.

Sousa (2005), realizou experimento instalado em área pertencente à Companhia de Águas e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), localizada no

município de Campina Grande – PB, sobre o pós-tratamento de esgoto para utilização na agricultura do Semiárido brasileiro, através dos sistemas de *wetland*, leito de brita não vegetado e lagoas de polimento. Neste experimento os parâmetros investigados foram: DQO, pH, sólidos, macro nutrientes, ovos de helmintos e indicadores de contaminação fecal. Quanto aos resultados, embora apenas a lagoa de polimento tenha produzido um efluente compatível com as recomendações da OMS para irrigação irrestrita, do ponto de vista nutricional, esse sistema mostrou-se menos eficiente do que os demais requerendo, portanto, uma complementação nutricional para atendimento da demanda da maioria das culturas cultivadas na região semiárida do Nordeste do Brasil. Sobre o aspecto sanitário, o sistema de lagoa de polimento apresentou boa qualidade sanitária, com baixa concentração de coliformes termotolerantes (menor que 1000 UFC/100mL) e ausência de ovos de helmintos. Contudo, o efluente apresentou pH ligeiramente acima da faixa adequada à irrigação (entre 6,5 e 8,4), exigindo assim, correção da acidez. Conforme o exposto, fica validada as vantagens da adoção de lagoas de polimento, como forma de redução significativa da carga de contaminantes, mesmo em face da necessidade de suplementação de nutrientes.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento dos objetivos específicos foi delineado através de processo metodológico de pesquisa exploratória, visando à análise propositiva de adoção do reúso agrícola como estratégia de desenvolvimento do Semiárido Brasileiro - SAB.

Nesse sentido, os resultados foram apresentados de forma qualitativa e quantitativa, a partir da coleta de informações de fontes secundárias, e do tratamento geoespacializado de informações.

Por tanto, os dados foram analisados sob dois cenários distintos - cenário vigente e cenário otimizado, sobre dois aspectos complementares – quantificação e valoração.

O cenário vigente, foi consolidado com base em dados do ano de 2013, e reflete as condições e potencialidades de implementação do reúso agrícola, dentro do atual estágio de desenvolvimento do saneamento básico no SAB, ou seja, exprime o quanto de esgoto está sendo atualmente produzido, coletado e tratado, além da estimativa do impacto econômico do aproveitamento agrícola deste esgoto.

O cenário otimizado, foi consolidado considerando uma condição ideal do saneamento no SAB, na qual toda a vazão efluente gerada seria totalmente coletada, tratada e designada ao reúso agrícola, com suas respectivas estimativas do impacto econômico do aproveitamento agrícola deste esgoto. Deste modo, todo o efluente gerado pela população dos municípios detentores de ETE's, do SAB seria designado ao aproveitamento no reúso agrícola.

Em ambos os cenários a premissa básica, está calcada na eliminação da descarga atual de efluentes sobre os corpos hídricos do Semiárido Brasileiro.

A quantificação objetiva determinar o “quanto se tem” de determinado recurso, enquanto que a valoração objetiva determinar o “quanto vale” monetariamente o referido recurso.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta abordagem, o Semiárido brasileiro foi caracterizado como sendo a área típica de desenvolvimento desse estudo, estando definido sobre os aspectos legal, geopolítico e hidro climático.

Semiárido é um tipo climático característico de regiões com precipitação deficitária em relação à evapotranspiração potencial. Também conhecido como clima de estepe, está caracterizado pelas condições de baixa umidade e índices pluviométricos, podendo variar de Semiárido quente (tipo “*BSh*”) nas regiões tropicais e subtropicais e Semiárido frio (tipo “*BSk*”), nas zonas temperadas, nos termos da classificação climática de *Köppen*.

O clima do Semiárido está assim caracterizado, por Silva *et al.* (2010, p.19):

Com uma precipitação anual máxima de 800 mm, insolação média de 2.800 h.ano<sup>1</sup> evaporação média de 2.000, temperaturas médias anuais de 23 °C a 27 °C, evaporação média de 2.000 mm.ano<sup>1</sup> e umidade relativa do ar média em torno de 50%, o Semiárido brasileiro, caracteristicamente, apresenta forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período, em média, de três a quatro meses, apresentando volumes de água insuficientes em seus mananciais para atendimento das necessidades da população.

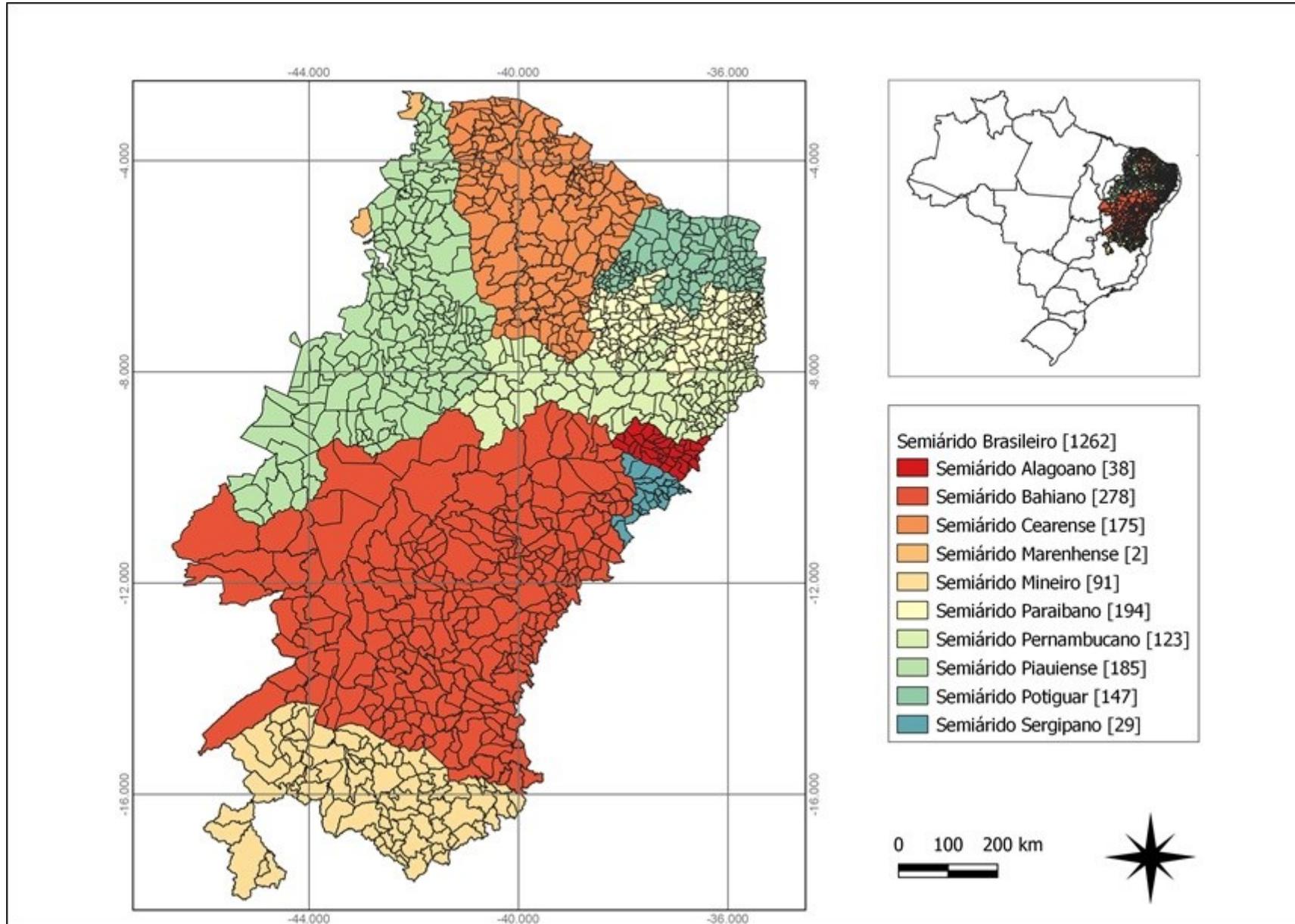
No Brasil o termo Semiárido é utilizado para caracterizar uma região constituída por um conjunto de municípios os quais atendam a pelo menos, um dos seguintes requisitos, em qualquer porção de seu território: precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800mm; índice de aridez de *Thorntwaite* igual ou inferior a 0,50 e percentual de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

O Semiárido brasileiro foi legalmente instituído pela lei federal nº 7 827, de 27 de setembro de 1989, ficando sua delimitação à cargo da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste –SUDENE, conforme publicado no sitio institucional: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>.

Em sua última atualização através da Resolução ° 107/2017, a abrangência do SAB foi ampliada de 1.189 para 1.262 municípios e de 9 para 10 Estados, com a inclusão do Estado do Maranhão.

Além da região Nordeste, o Semiárido brasileiro se estende sobre a região norte do Estado de Minas Gerais, ocupando aproximadamente 18% do território do Estado, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de Distribuição Geopolítica do Semiárido Brasileiro



Fonte: próprio autor – 2020.

## 4.2 ANÁLISE DA CONJUNTURA DO SANEAMENTO BÁSICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A análise da conjuntura foi realizada a partir dos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, ano base (2018), de onde foram extraídas as seguintes variáveis referentes a três eixos de análise, a saber:

- a) Abastecimento de água - quantidade de sedes municipais, atendidas com abastecimento de água no SAB; volume de água consumido, volume tratado e coeficiente de retorno;
- b) Esgotamento sanitário – quantidade de Sedes municipais atendidas com esgotamento sanitário no SAB, volume de esgoto produzido, coletado e tratado;
- c) Aspecto populacional – quantidade de municípios que integram o Semiárido; população total, urbana e rural dos municípios do Semiárido; população urbana residente do(s) município(s) com abastecimento de água; população urbana atendida com abastecimento de água; população urbana não atendida com abastecimento de água; população urbana residente do(s) município(s) com esgotamento sanitário; população urbana atendida com esgotamento sanitário; população urbana não atendida com esgotamento sanitário.

Por meio do cruzamento destas variáveis, foram estabelecidos importantes aspectos da conjuntura do saneamento, a exemplo dos índices de abrangência dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário sobre as populações urbana e rural do SAB; o consumo *percapita* de água e produção de esgoto; além do volume de esgoto, lançado sem tratamento nos corpos hídricos do SAB.

Esta análise foi direcionada para a demonstração da situação do saneamento básico na região semiárida, como ponto de partida necessário à construção dos demais objetivos.

## 4.3 ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁGUA RESIDUÁRIA DISPONÍVEL PARA REÚSO AGRÍCOLA

A estimativa do volume de água residuária foi direcionada para responde à seguinte pergunta: Quanto de esgoto está sendo produzido, coletado e tratado?

Os valores que respondem ao questionamento foram compilados a partir do banco de dados das Estações de Tratamento de Esgoto existentes no SAB, o qual é

resultante da publicação do ATLAS Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA 2017).

Na elaboração deste Atlas, para os municípios com população urbana inferior a 50.000 habitantes, os dados foram levantados *in loco*, através de visitas técnicas realizadas pela Agência Nacional de Águas - ANA. Já nos municípios com população urbana superior a 50.000 habitantes, os dados foram obtidos indiretamente, através das prestadoras de serviço institucionalizadas.

Assim, foram utilizados os dados da vazão coletada e tratada, com resultados expressos em litros por segundo ( $Q=l/s$ ), para cada um dos municípios do SAB, que dispõe de Estação de Tratamento de Esgoto.

#### 4.4 ESTIMATIVA DO INCREMENTO DE ÁREA IRRIGÁVEL EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA RESIDUÁRIA

A estimativa da área irrigável foi precedida da determinação do déficit hídrico anual existente nos municípios do SAB, vez que revela o conjunto das informações necessárias para a tomada de decisão sobre o manejo da irrigação, visando manter as condições ideais de umidade do solo, necessárias ao desenvolvimento das culturas. Ou seja, manter a capacidade de água disponível entre as faixas da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente.

Assim, para quantificar a agregação de área irrigável, foram gerados os Balanços Hídricos Climatológicos - BHC, especificamente para cada um dos 327 municípios do SAB, que dispõem de Estações de Tratamento de Esgoto – ETE's.

O Balanço Hídrico Climatológico - BHC, atende ao parâmetro metodológico estabelecido por Thornthwaite & Mather (1955), e foi calculado a partir de planilha eletrônica de cálculo disponibilizada pelo Departamento de Ciências Exatas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP, através do endereço eletrônico: [http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/ftp/bh\\_aula\\_sentelhas.xls](http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/ftp/bh_aula_sentelhas.xls).

No referido método, a partir dos dados de P (precipitação), de ETP (evapotranspiração) e da CAD (capacidade de água disponível), chegou-se aos valores de disponibilidade de água no solo (Armazenamento = ARM), de alteração do armazenamento de água do solo (ALT = ARM), de evapotranspiração real (ETR), de deficiência hídrica (DEF) e de excedente hídrico (EXC = DP).

Para tanto, a entrada de dados específicos dos municípios compreendeu a Latitude, extraída do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, no seguinte caminho: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>; a média mensal de temperatura e precipitação pluviométrica, extraída do site <https://www.climatempo.com.br/climatologia/264/teresina-pi>, cujas médias climatológicas são valores calculados a partir de um série de dados de 30 anos de observação.

Outro dado de entrada, necessário ao cálculo do BHC foi a capacidade de água disponível no solo (CAD), a qual representa o máximo de água disponível que determinado tipo de solo pode reter em função de suas características físico-hídricas, a saber: umidade da capacidade de campo, do ponto de murcha permanente, a massa específica do solo e a profundidade efetiva do sistema radicular (Zr), onde se concentram cerca de 80% das raízes.

Dada a variedade de textura encontrada nas classes predominantes dos solos do Semiárido, foi utilizada a CAD média, calculada pela fórmula abaixo, conforme as características gerais do solo, descritas na publicação “efeito da água no rendimento da colheita” (Doorenbos e Kassam, 1994).

$$CAD = CAD_{média} * Zr$$

Onde:

CAD<sub>média</sub> = capacidade de água disponível média (CAD<sub>média</sub> p/ solos argilosos = 2,0 mm/cm; CAD<sub>média</sub> p/ solos de textura Média = 1,4 mm/cm e CAD<sub>média</sub> p/ solos arenosos = 0,6 mm/cm), resultando numa CAD<sub>média</sub> = 1,3 mm de água/cm de profundidade de solo;

Zr = profundidade específica do sistema radicular (45cm), adotado conforme Duarte, *et all.* (2007).

Portanto, a capacidade de água disponível no solo, adotada para efeito de cálculo do balanço hídricos dos municípios do Semiárido, conforme a fórmula acima, foi:

$$(CAD = 58,5mm)$$

De posse dos resultados dos Balanços Hídricos Climatológicos – BHC’s, foram calculados os valores do déficit hídrico anual para cada município, de forma a possibilitar a identificação da lâmina de irrigação necessária para neutralizá-los e, com isso, manter o solo constantemente sobre condições de Capacidade de Campo (CC).

Assim, o manejo da irrigação foi estabelecido com foco na reposição sistemática desse volume perdido, permitindo o esgotamento de apenas parte da CAD, de forma a recompor as condições hídricas necessárias ao pleno desenvolvimento das culturas. Portanto, foi adotada a equivalência quantitativa entre a irrigação real necessária e a evapotranspiração potencial (**IRN = ETP**).

Assim, a quantificação da Área Irrigável se deu pela razão entre o volume (m<sup>3</sup>) anualmente disponível de esgoto tratado e o déficit hídrico (mm) anual, em cada município, de forma que o seu resultado representa a quantidade de área (ha), possível de ser irrigada com o volume anual (m<sup>3</sup>) de efluente disponível.

#### 4.5 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE MACRONUTRIENTES DISPONIBILIZADA PELA ÁGUA RESIDUÁRIA.

O valor nutricional da água residuária, se deu a partir da adoção de uma composição padrão do efluente, apresentada por Nuvolari (2003), “como o efluente contém de 15 a 30 mg de nitrogênio, 5 a 10 mg de fósforo e cerca de 20 mg de potássio por litro, pode-se atingir taxa anual de aplicação de nutrientes de 150 a 700kg de nitrogênio (N), 50 a 200kg de fósforo (P), e 200 a 400kg de potássio (K), por hectare.

Assim, para efeito de cálculo, foram adotados os quantitativos anuais médios de 425kg/ha para o N; 125kg/ha de P e 300kg/ha para o K, e os valores comerciais de aquisição desses nutrientes, conforme cotação de preços de fertilizantes, disponibilizada pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultainsumo.do?method=acaoCarregarConsulta>, acessado em 20/07/2020, cujos preços para os fertilizantes cloreto de potássio - KCl; super simples - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e sulfato de amônio - (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, foram: R\$ 1.839,00/t, R\$ 1.150,00/t, e R\$ 1.595,00/t, respectivamente.

Assim, o cálculo do valor nutricional da água residuária foi concebido por meio da multiplicação dos quantitativos médios anuais de nitrogênio, fósforo e potássio (kg) pela área irrigável (ha) calculada para cada município.

#### 4.6 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA IMPLEMENTAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA

Na identificação do **impacto técnico da aplicação do reúso agrícola**, foi avaliada à propositura de um modelo de desenvolvimento, calcado na edificação de

Núcleos de Desenvolvimento de “Agricultura Periurbana” (NDAP), no entorno das Estações de Tratamento de Esgoto – ETE’s, situadas no SAB, considerando que o esgotamento sanitário, constitui a vertente central da Análise Regionalizada de Aplicação do Reúso Agrícola no Semiárido Brasileiro.

No cenário acima disposto, as Estações de Tratamento de Esgoto – ETE’S, constituem unidades de tratamento de esgoto doméstico, geograficamente distribuídas por vários municípios da região semiárida, capazes de tratar este esgoto, dotando-o das condições fitossanitárias apropriadas ao aproveitamento do efluente, para fins de reúso agrícola.

No âmbito desta pesquisa, Núcleo de Desenvolvimento de Agricultura Periurbana – NDAP, foi o termo adotado para expressar o modelo de aproveitamento de reúso agrícola que vem sendo testado e difundido pelo Instituto Nacional do Semiárido – INSA, a exemplo do trabalho realizado na unidade experimental, localizada no município de Frei Martinho/PB.

A referida unidade experimental, dispõe de uma área irrigada de 01 (um) hectare, sendo esta a referência mínima adotada como tecnicamente viável para implementação dos NDAP’s. Nessas áreas são plantadas variedades de palma forrageira, normalmente consorciada com culturas anuais ou perenes, plantas forrageiras ou árvores para a produção de lenha, em sistema localizado de subirrigação (em média 3,7 litros/metro linear/semana).

A infraestrutura dessas unidades experimentais vem sendo viabilizadas através da parceria institucionalizada entre o INSA e as prefeituras municipais, cujo modelo pode ser replicado por todos os municípios integrantes do SAB. Atualmente essas unidades estão direcionadas à produção de forragem, visando conferir sustentabilidade à atividade pecuária da região, devendo ser adaptadas à agricultura de subsistência, no escopo dos NDAP’s.

A ideia é simples, mas de alto poder transformador, em função da capacidade da agricultura irrigada em proporcionar a inclusão social, através da geração de emprego e agregação de renda às famílias atualmente situadas à margem da atividade econômica.

Assim, o potencial de implementação dos núcleos foi individualmente dimensionado, para cada município do Semiárido detentor de estações de tratamento

de esgoto, visando constituir subsídios suficientes à tomada de decisão, por parte dos municípios.

O **impacto econômico da aplicação do reúso agrícola**, foi avaliado por meio das estimativas de agregação da produção agropecuária e de geração de renda local.

Para responder sobre a agregação da produção agropecuária ou seja, a quantidade de alimentos que poderá ser produzida, foram adotados como referências, os índices de produtividade obtidos em sistemas de produção fertirrigados com esgoto doméstico tratados, podendo estar diluído ou consorciado com cargas complementares de adubação química, conforme exemplificados no referencial teórico desta pesquisa: o valor de 2.610 kg/ha para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), referenciado por Souza *et al.* (2014); o valor de 4.510 kg/ha de milho (*zea mays*), referenciado por Silva, L. T. (2015) e 39.279 kg/ms/ha/ano de Tifton 85 (*Cynodon spp.*), referenciado por Gomes *et al.* (2015).

A escolha das culturas do milho e do feijão, se deu em função da sua importância na economia e do hábito alimentar da região e no caso do capim tifton85, a escolha foi determinada pela capacidade de suporte à produção de proteína animal (carne caprina/ovina), fortemente utilizada na culinária do Semiárido.

A produção das culturas foi calculada através da multiplicação direta entre os índices de produtividade e a quantidade de área irrigável, de forma que os resultados representem o total de toneladas de grãos – no caso do milho e do feijão e de matéria seca, no caso da pastagem, possíveis de serem anualmente produzidos nos municípios do Semiárido, detentores de ETE's.

Para anualizar o cálculo da produção, foram adotados os ciclos de produção correspondentes a 32 dias, no caso da pastagem; 100 dias para o feijão e 150 dias para o milho.

Para tornar mais palpável os resultados da produção de forragem, sua produção foi “convertida” em proteína animal, referente a carne caprina/ovina, a qual tradicionalmente faz parte do hábito alimentar da população do Semiárido.

Para tanto, foi considerada uma capacidade de suporte para a pastagem de Tifton, correspondente a 6UA/ha/ano (cada Unidade Animal - UA corresponde a 450kg de peso vivo), perfazendo uma ocupação de 54 animais por hectare. Os cálculos relativos à produção animal foram realizados com base no peso médio de abate de

30kg/animal (ovinos/caprinos), com ciclos de produção de 6 meses e rendimento médio de carcaça da ordem de 50%.

O cálculo do valor financeiro advindo desse quantitativo de produção, se deu pela multiplicação direta em relação aos respectivos preços unitários, extraídos de cotação realizada para os municípios do Semiárido baiano, extraída do site da Agrolink no endereço eletrônico: <https://www.agrolink.com.br/cotacoes>.

Os preços utilizados correspondem à média dos preços no período de 09/11 a 09/12 de 2020, os quais foram assumidos, para efeito de cálculo, como média anual gerando os seguintes valores: para o feijão o valor unitário foi de R\$ 4,79/kg, para o milho o valor foi de R\$ 1,07/kg e para a carne caprina foi de R\$ 18,00/kg.

A estimativa de geração de renda local foi mensurada em razão do potencial de geração de empregos diretos e indiretos, decorrentes da implementação de áreas irrigadas, conforme observado por Sampayo (1999).

A base comparativa de análise da agregação de renda local, advém dos dados sócio econômicos relativos ao Perímetro Público Irrigado “Senador Nilo Coelho” disponibilizados pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco – CODEVASF, no endereço eletrônico : <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/projetos-publicos-de-irrigacao/elenco-de-projetos/em-producao/senador-nilo-coelho>.

Os cálculos da estimativa de agregação foram processados pela relação direta entre a quantidade de empregos (diretos e indiretos) a serem gerados, e a remuneração da respectiva mão-de-obra, tomando-se como referência remuneratória, o salário mínimo vigente no país, ano base 2020 (Medida Provisória nº. 919/2020).

Na identificação do **impacto ambiental da aplicação do reúso agrícola**, foram avaliadas as estimativas de desoneração monetária do tratamento da água de abastecimento e de desoneração monetária do sistema público de saúde.

A desoneração monetária sobre o tratamento de água foi estabelecida por meio da relação entre o volume efluente designado ao reúso agrícola, o qual não mais constituirá objeto de descarga poluentes sobre os corpos hídricos, e o valor calculado para tratar o mesmo volume de água bruta ao nível de potabilidade adequada ao abastecimento humano das populações situada à jusante, considerando-se os parâmetros estabelecidos na Portaria MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011.

O princípio da desoneração do tratamento da água compreende a ideia de que a suspensão da descarga efluente gerada pelo usuário A, sobre um determinado corpo hídrico, implica numa economia financeira, de mesma proporção, ao usuário B, o qual não mais terá que tratar a carga poluente, que foi direcionada ao reúso agrícola, perfazendo assim uma conversão do que seria “gasto” para tratamento da água poluída em “lucro” pela não necessidade de se fazer tal investimento.

Para calcular a desoneração monetário do tratamento de água, foram utilizados os dados extraídos da estrutura tarifária da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, disponível no seguinte endereço: [http://www.cagepa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2015/01/ESTRUTURA-TARIF%C3%81RIA-2018\\_PUBLICADA.pdf](http://www.cagepa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2015/01/ESTRUTURA-TARIF%C3%81RIA-2018_PUBLICADA.pdf), acessado em 19/07/2020, a qual repassa aos usuários residencial, social comercial, industrial e público, um custo médio de R\$ 5,50/m<sup>3</sup> pelo tratamento de água e R\$ 4,86/m<sup>3</sup> de esgoto, constituindo um relação tarifária percentual água-esgoto, de 88,36%.

Em relação à desoneração do Sistema Público de Saúde, cabe ressaltar que a deficitária infraestrutura de saneamento básico, embora esteja presente em todas as regiões brasileiras, se acentua nas regiões Norte e Nordeste. Especificamente no SAB o quadro é acentuado pela deficiência da vertente do abastecimento de água, a qual potencializa os malefícios da ausência do esgotamento sanitário.

Uma grave consequência desse quadro, notadamente da ausência da coleta e tratamento de esgoto, se reflete na ocorrência das chamadas Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado – DRSAI, que compreendem um vasto número de enfermidades (cólera, diarreias, amebíase, leptospirose, doença de chagas, dengue, hepatite, malária, esquistossomose, conjuntivites, etc.) as quais foram tipificadas pela Organização Mundial de Saúde, através do Código Internacional de Doenças – CID-10.

A Fundação Nacional de Saúde – FUNASA agrupou as DRSAI's em cinco grupos distintos: geo-helmintos e teníases; doenças de transmissão feco-oral; doenças relacionadas com a higiene; doenças transmitidas através do contato com água e doenças transmitidas por inseto vetor.

Os dados utilizados para calcular o impacto da desoneração monetária sobre o sistema público de saúde, foram extraídos do Sistema Único de Saúde – SUS, através do sítio eletrônico <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/sxuf.def>,

acessado em 20/07/2020, tomando-se como referência o ano de 2016 (último ano com série histórica disponibilizada pelo sistema TABNET).

Cabe observar, que essa desoneração também é regulada por um princípio semelhante ao apresentado pela desoneração do tratamento de água, vez que também contempla a ideia de que o movimento no sentido da universalização – aumento do índice de cobertura dos serviços de esgotamento sanitário, imprime um efeito proporcionalmente redutor das ocorrências de DRSAI's, perfazendo assim uma conversão do que seria “gasto” para implementação do esgotamento, em “lucro” pela não necessidade de aporte financeiro para o tratamento dessa classe de doenças.

A desoneração monetária sobre o sistema de saúde pública foi calculada, pela relação direta entre o número de internações hospitalares e o custo médio gasto pelo SUS para custear as internações decorrentes de DRSAI no Semiárido Brasileiro. Por conseguinte, exercerá comportamento modular de valoração e quantificação, para ambos os cenários.

#### 4.7 VALORAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Este tópico da pesquisa, objetiva contabilizar a relação entre a implementação do reúso agrícola e a riqueza econômica, social e ambiental, gerada pelos diferentes segmentos envolvidos.

A implementação do reúso agrícola nos municípios do SAB, detentores de estações de tratamento de esgoto foi valorada, conforme a fórmula proposta:

$$VRA/SAB = \frac{VPA + VNS + VRL + VTA + VSP}{AI}$$

Onde:

VRA/SAB – Valoração do Reúso Agrícola no Semiárido Brasileiro;

VPA – Valoração da Produção Agropecuária;

VNS – Valoração Nutricional da Água Residuária;

VRL – Valoração da Renda Local;

VTA – Valoração do Tratamento de Água;

VSP – Valoração do Sistema Público de Saúde;

AI – Área Irrigável

A aplicação desta fórmula expressa um resultado calcado na relação de valor (R\$) por unidade de área (ha), cabendo ressaltar que o valor da (VPA), vai variar em função do produto (s) adotado (s) como referência para o cálculo da produção.

A aplicabilidade da referida fórmula está limitada pelo caráter estritamente quantitativo do ativo em análise, somente sendo efetiva quando a variável em análise for dotada de valor monetário.

#### 4.8 INVESTIGAÇÃO SOBRE O AMBIENTE INSTITUCIONAL, VISANDO IDENTIFICAR OS POSSÍVEIS ENTRAVES À EFETIVAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA

A investigação sobre o ambiente institucional do esgotamento sanitário, visou identificar os possíveis entraves e potencialidades à efetivação do reúso, sobre os seguintes aspectos:

- a) Estruturais – marco regulatório e sistema de gestão;
- b) Econômicos – instrumentos de valoração, controle e fiscalização;
- c) Sociais - universalização dos serviços e empoderamento cultural.

Esta investigação se deu por meio da interpretação do arcabouço legal, decorrente da “Lei das Águas” – Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a qual instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh), além de consulta bibliográfica de artigos pertinentes ao tema.

## **5 RESULTADOS E DISCURSÕES**

### **5.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **5.1.1 Inserção Regional**

A abordagem aqui descrita, representa um recorte sobre a região semiárida brasileira, especificamente focada sobre os 327 municípios que dispõe de estações de tratamento de esgoto ETE's.

A delimitação da área de estudo sobre este contingente, objetiva possibilitar a análise detalhada dos aspectos necessários à implementação de Núcleos de Desenvolvimento de Agricultura Periurbana – NDAP, no entorno das citadas estações.

### **5.2 PANORAMA DO SANEAMENTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Este tópico da pesquisa, se destinou a lastrear o conhecimento sobre as condições do saneamento básico na região semiárida brasileira, visando proporcionar as condições de análise sobre a pertinência ou não do questionamento central de investigação da presente pesquisa.

#### **5.2.1 Aspectos Populacionais**

Conforme dados do IBGE, para o ano de 2018, a região Semiárida Brasileira dispõe de um contingente populacional de 27.606.440 (vinte e sete milhões, seiscentos e sete mil e quatrocentos e quarenta) habitantes, distribuídos pelos 10 Estados abrangidos, conforme definido da Tabela 2, construída a partir de dados obtidos no endereço institucional: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos/agua-e-esgotos>.

**Tabela 2** - Número de sedes municipais do Semiárido Brasileiro, e respectivas populações: urbana, rural e total.

Semiárido	Número de municípios	População (habitantes)		
		Urbana	Rural	Total
Alagoano	38	532.500	415.371	947.871
Baiano	278	4.428.688	2.963.999	7.392.687
Cearense	175	3.684.694	2.178.917	5.863.611
Maranhense	2	159.075	55.001	214.076
Mineiro	91	914.065	560.276	1.474.341
Paraibano	194	1.680.971	805.581	2.486.552
Pernambucano	123	2.618.954	1.384.510	4.003.464
Piauiense	185	1.930.837	914.006	2.844.843
Potiguar	147	1.310.741	593.222	1.903.963
Sergipano	29	269.651	206.381	476.032
<b>Total</b>	<b>1.262</b>	<b>17.530.176</b>	<b>10.077.264</b>	<b>27.607.440</b>

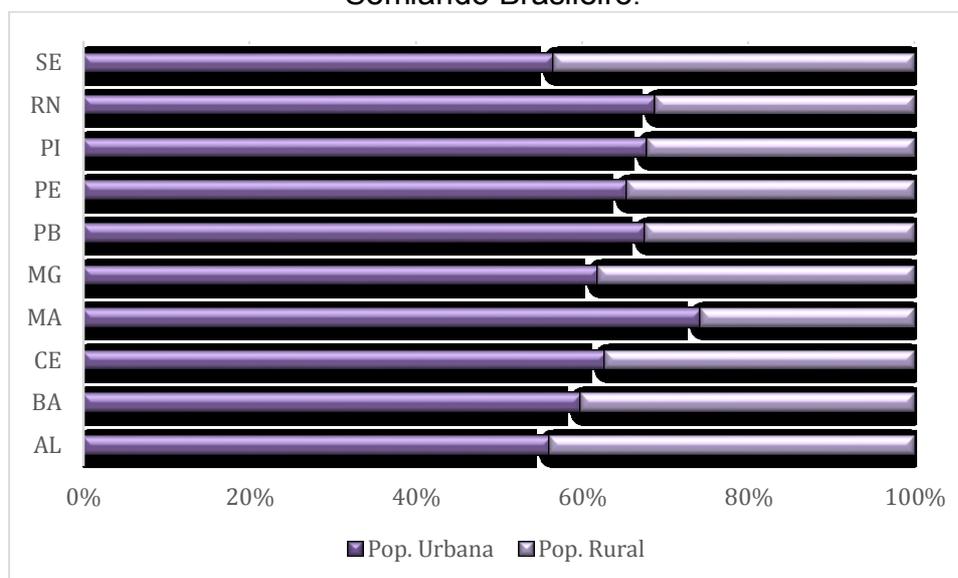
**Fonte:** Elaborado pelo Autor (2020).

Deste contingente, 17.530.176 (dezessete milhões, quinhentos e trinta mil, cento e setenta e seis) habitantes constituem a população urbana – 63% da população total do Semiárido, enquanto que 10.077.264 (dez milhões, setenta e sete mil e duzentos e sessenta e quatro) habitantes constituem a população rural dos municípios do Semiárido, o que corresponde a 37% da população.

Considerando-se que esta população rural, além de estar geograficamente pulverizada, normalmente não dispõe de infraestrutura coletiva de esgotamento sanitário, o foco do presente trabalho foi concentrado, somente, sobre a população residente no perímetro urbano dos municípios integrantes do SAB.

Na maioria dos Estados do Semiárido, a população urbana responde por aproximadamente 70% da população, excetuando-se os Estados de Alagoas e Sergipe, cuja população urbana fica na casa dos 55% da população, conforme apresentado na Figura 2:

**Figura 2** - Distribuição da população urbana e rural dos Estados que integram o Semiárido Brasileiro.



**Fonte:** Elaborado pelo Autor (2020).

Com uma área de aproximadamente 1,1 milhão de km<sup>2</sup>, o que corresponde a 13,3% do território nacional, o Semiárido brasileiro abriga 13,4% da população brasileira e 48,7 % da população da Região Nordeste. Numa referência de grandeza, a população do Semiárido é superior ao somatório das populações de países como Equador, Paraguai e Uruguai.

Cabe observar que os Estados da Bahia, Paraíba e Piauí, juntos, concentram mais da metade - 52,06% dos municípios e quase metade - 46,57% da população do SAB.

### 5.1.2 Abastecimento de Água

Em relação ao abastecimento humano de água, pode-se observar que 89 (oitenta e nove) municípios do SAB não dispõem de serviço de abastecimento de água, o que corresponde a 7% do total de municípios. Dentre os 10 Estados do Semiárido, apenas o Semiárido Alagoano, Maranhense e Sergipano dispõem de 100% de municípios atendidos pelo abastecimento de água.

Considerando toda a população do Semiárido, apenas 16.988.074 (dezesseis milhões, novecentos e oitenta e oito mil e setenta e quatro) habitantes residem em municípios atendidos com abastecimento de água, o que corresponde a apenas 61,53% da população, conforme demonstrado na Tabela 3:

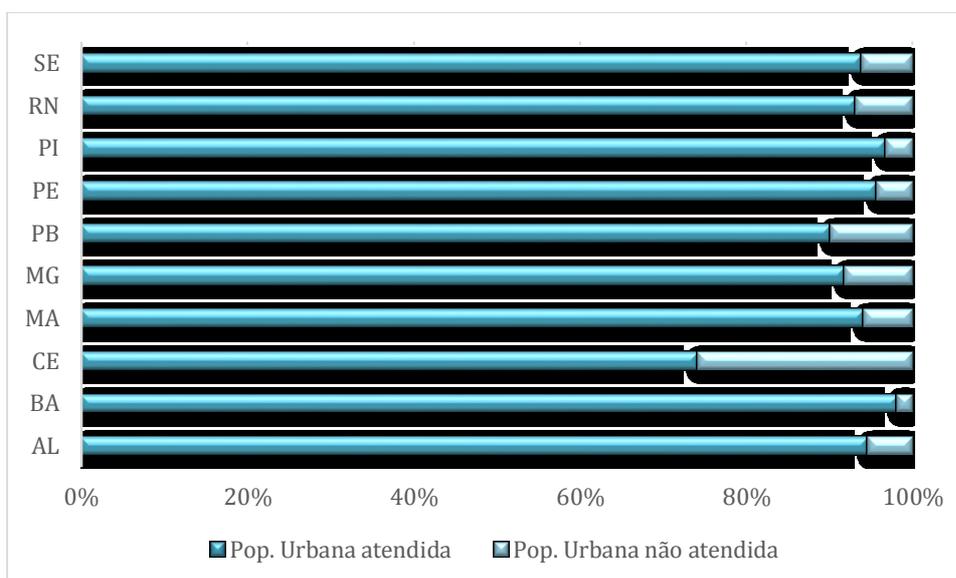
**Tabela 3** - Abrangência do serviço de abastecimento de água da população urbana nos municípios do Semiárido Brasileiro.

<b>Semiárido</b>	<b>Quantidade de sedes municipais com abastecimento de água</b>	<b>População residente em municípios com abastecimento de água</b>	<b>População urbana atendida com abastecimento de água</b>	<b>População urbana não atendida com abastecimento de água</b>
Alagoano	38	532.500	504.052	28.448
Baiano	262	4.283.537	4.205.689	77.848
Cearense	167	3.524.630	2.614.068	910.562
Maranhense	2	159.075	149.782	9.293
Mineiro	89	909.751	835.696	74.055
Paraibano	182	1.596.552	1.439.325	157.227
Pernambucano	120	2.599.218	2.488.481	110.737
Piauiense	144	1.858.589	1.798.506	60.083
Potiguar	140	1.254.571	1.169.572	84.999
Sergipano	29	269.651	253.223	16.428
<b>Total</b>	<b>1.173</b>	<b>16.988.074</b>	<b>15.458.394</b>	<b>1.529.680</b>

**Fonte:** Elaborado pelo Autor (2020).

Do total da população do Semiárido que reside em municípios que dispõe do serviço de abastecimento humano de água, 16.988.074 (dezesseis milhões, novecentos e oitenta e oito mil e setenta e quatro) habitantes, 15.458.394 (quinze milhões quatrocentos e cinquenta e oito mil, trezentos e noventa e quatro) de habitantes tem acesso aos serviços, enquanto que 9% de toda a população urbana, residente em municípios que dispõe do serviço de abastecimento, não tem acesso a água. Ou seja, são 1.529.680 (um milhão quinhentos e vinte e nove mil, seiscentos e oitenta) de habitantes que, a pesar de “dispor” dos serviços, não conseguem acessá-lo.

**Figura 3** - Distribuição da população urbana, atendida e não atendida com abastecimento de água no Semiárido Brasileiro.

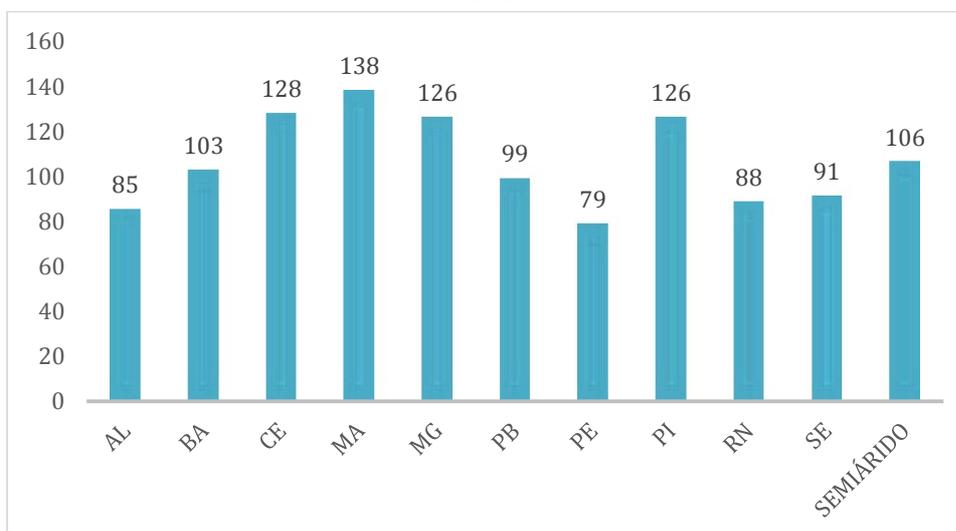


**Fonte:** Elaborado pelo Autor (2020).

A análise dos dados apresentados na Figura 3, permite identificar que na maioria dos Estados do Semiárido brasileiro, mais de 90% da população é atendida com o serviço de abastecimento de água, com exceção do Estado do Ceará, cujo índice de atendimento é de apenas 74%.

Sobre a quantificação do consumo per capita de água para o ano de 2018 no SAB, os resultados estão apresentados na Figura 4.

**Figura 4** - Consumo per capita de água estratificada, por Estado, no Semiárido Brasileiro.



**Fonte:** Elaborado pelo Autor (2020).

Embora o Estado do Maranhão, que apresentou o maior consumo per capita de água – 138l/hab./dia, disponha de apenas 2 municípios inseridos no SAB, seu consumo apresenta significativa diferença em relação ao Estado de Pernambuco, que apresentou o menor consumo per capita de água – 79l/hab./dia, proporcionando uma variação no consumo per capita, da ordem de 42,90% entre os Estados. Para efeito de cálculos de dimensionamento, foi adotada a média ponderada do consumo per capita de água do Semiárido, correspondente a 105,44 l/hab./dia.

### 5.1.3 Esgotamento Sanitário

Os dados relativos ao esgotamento sanitário dos municípios do SAB, exprimem uma realidade ainda mais deficitária, quando comparada com o abastecimento de água, a começar pelo baixo número de municípios atendidos com os serviços de esgotamento, apenas 410 (quatrocentos e dez) municípios em todo o Semiárido, o que corresponde a apenas 32% dos municípios.

Considerando toda a população do Semiárido, apenas 11.344.825 (onze milhões, trezentos e quarenta e quatro oitocentos e vinte e cinco) de habitantes residem em municípios atendidos com esgotamento sanitário, o que corresponde a apenas 41,09% da população do SAB, conforme demonstrado na Tabela 4:

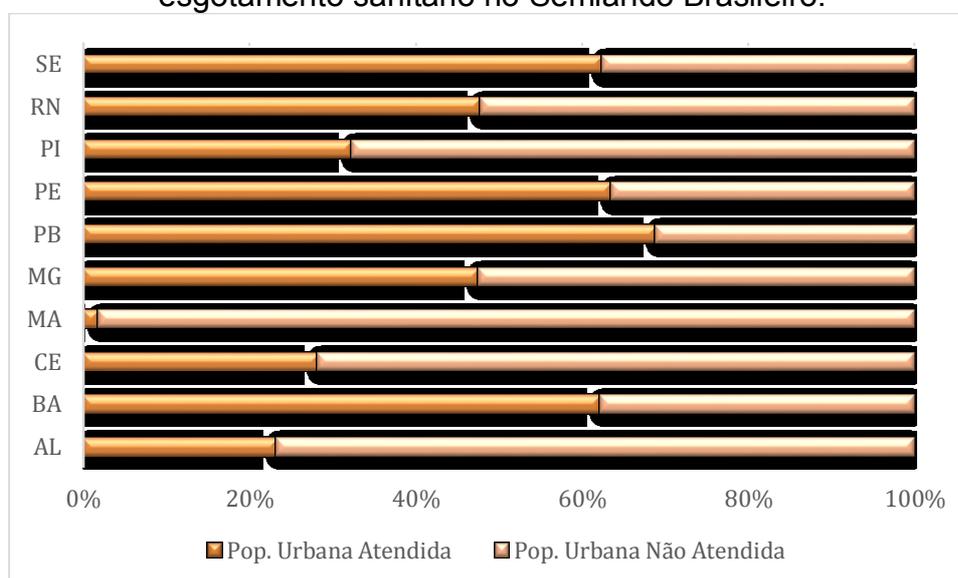
**Tabela 4** - Abrangência do serviço de esgotamento sanitário da população urbana nos municípios do Semiárido Brasileiro.

Semiárido	Quantidade de sedes municipais com esgotamento sanitário	População residente em municípios com esgotamento sanitário	População urbana atendida com esgotamento sanitário	População urbana não atendida com esgotamento sanitário
Alagoano	6	118.929	27.721	91.208
Baiano	90	2.992.175	1.860.671	1.131.504
Cearense	86	2.698.351	763.192	1.935.159
Maranhense	1	146.010	2.762	143.248
Mineiro	57	751.268	357.147	394.121
Paraibano	56	946.600	652.336	294.264
Pernambucano	45	1.617.512	1.028.533	588.979
Piauiense	14	1.203.729	388.851	814.878
Potiguar	49	795.782	380.204	415.578
Sergipano	6	74.469	46.476	27.993
<b>Total</b>	<b>410</b>	<b>11.344.825</b>	<b>5.507.893</b>	<b>5.836.932</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Do total da população do Semiárido que reside em municípios que dispõe do serviço de esgotamento sanitário - 11.344.825 (onze milhões, trezentos e quarenta e quatro mil, oitocentos e vinte e cinco) habitantes, apenas 5.507.893 (cinco milhões quinhentos e sete mil oitocentos e noventa e três) de habitantes tem acesso aos serviços, enquanto que 51% de toda a população urbana, residente em municípios que dispõe do serviço de esgotamento sanitário, não tem acesso ao serviço. Ou seja, são 5.836.932 (cinco milhões oitocentos e trinta e seis mil novecentos e trinta e dois) de habitantes que, apesar de “dispor” dos serviços, não são conseguem acessá-lo.

**Figura 5** - Distribuição da população urbana, atendida e não atendida com esgotamento sanitário no Semiárido Brasileiro.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

A análise dos dados apresentados na Figura 5, permite constatar que, na maioria dos Estados do SAB, menos de 60% da população é atendida com o serviço de esgotamento sanitário, com exceção dos Estados de Sergipe, Pernambuco, Paraíba e Bahia. Já os Estado do Rio Grande do Norte, Piauí, Minas Gerais, Ceará e Alagoas, apresentam índice de atendimento, inferior a 50%.

Sobre os volumes de efluente, foi considerado como “esgoto sanitário” gerado, a porção decorrente da aplicação de um coeficiente de retorno, correspondente a 80% do volume de água consumida, em consonância com a NBR 9649, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, conforme demonstrado na Tabela 5.

**Tabela 5** - Segregação do esgotamento sanitário da população urbana nos municípios do Semiárido Brasileiro.

Semiárido	Volume de esgoto gerado (l/s) TR =80%	Volume de esgoto coletado (l/s)	Volume de esgoto tratado (l/s)	Volume de esgoto lançado sem tratamento (l/s)
Alagoano	506	22	21	484
Baiano	5.202	2.481	1.961	2.722
Cearense	3.369	1.306	995	2.063
Maranhense	208	1	1	207
Mineiro	1.002	471	334	530
Paraibano	1.444	985	755	459
Pernambucano	2.195	1.370	579	825
Piauiense	2.404	395	390	2.009
Potiguar	1.193	457	426	736
Sergipano	347	37	4	311
<b>Total</b>	<b>17.871</b>	<b>7.525</b>	<b>5.467</b>	<b>10.346</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

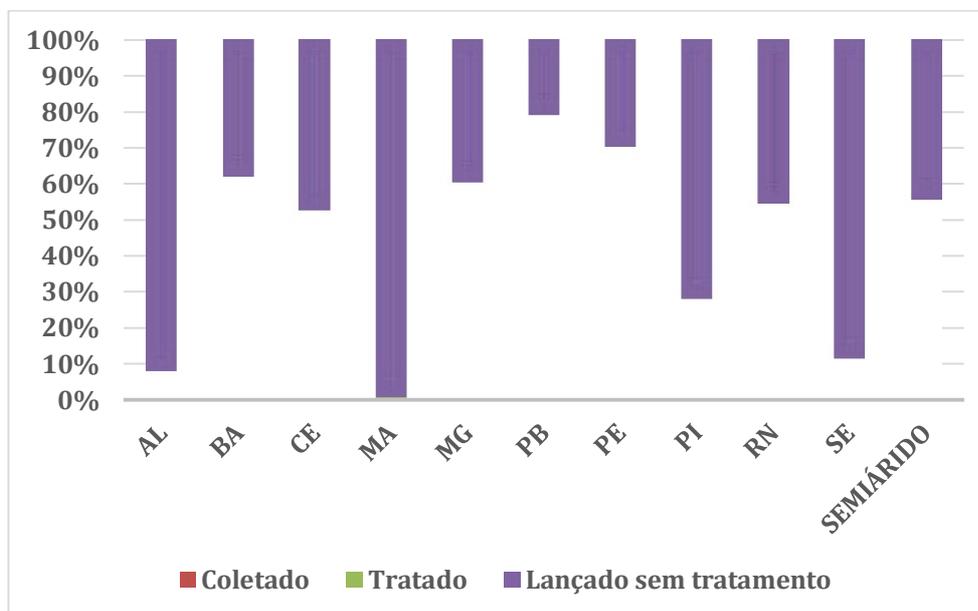
Conforme os dados apresentados na Tabela 5, pode-se constata que somente os Estados da Paraíba com 68,20% e Pernambuco com 62,40% dispõe de índices de coleta superior a 50% de do volume de esgoto produzido.

No tocante ao índice de tratamento, apenas o Estado da Paraíba, com 52,26%, dispõe de índice superior a 50%.

Sobre a descarga efluente (lançado sem tratamento) somente os Estados da Paraíba com 31,80% e Pernambuco com 37,60% dispõe de índices de descarga, inferior a 50% do volume de esgoto produzido.

Em relação ao Semiárido como um todo, os números estão representados, conforme na Figura que segue.

**Figura 6** - Segregação estratificada, por Estado, do esgotamento sanitário no Semiárido Brasileiro.



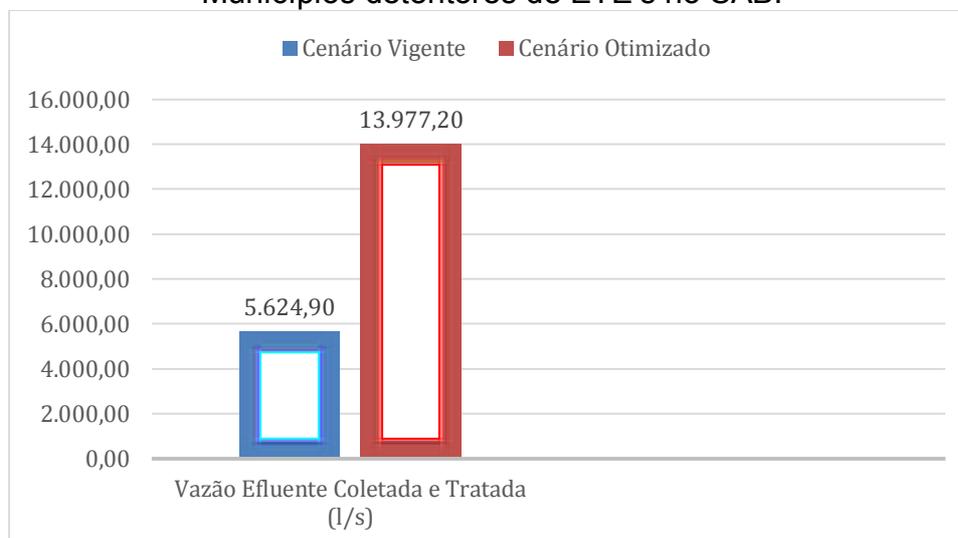
**Fonte:** Elaborado pelo Autor (2020).

Conforme apresentado na Figura 6, no Semiárido brasileiro, 42,11% do esgoto produzido, é coletado, enquanto que apenas 30,59% é tratado, e 57,89% do volume total de esgoto produzido, é lançado sem tratamento.

### 5.3 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA RESIDUÁRIA

Os dados relativos à disponibilidade de água residuária foram sistematizados a partir da vazão total dos municípios detentores de ETE's, em função dos dois cenários metodologicamente definidos, estando apresentados conforme a Figura 7:

**Figura 7** - Comparação quantitativa da vazão efluente dos Municípios detentores de ETE's no SAB.



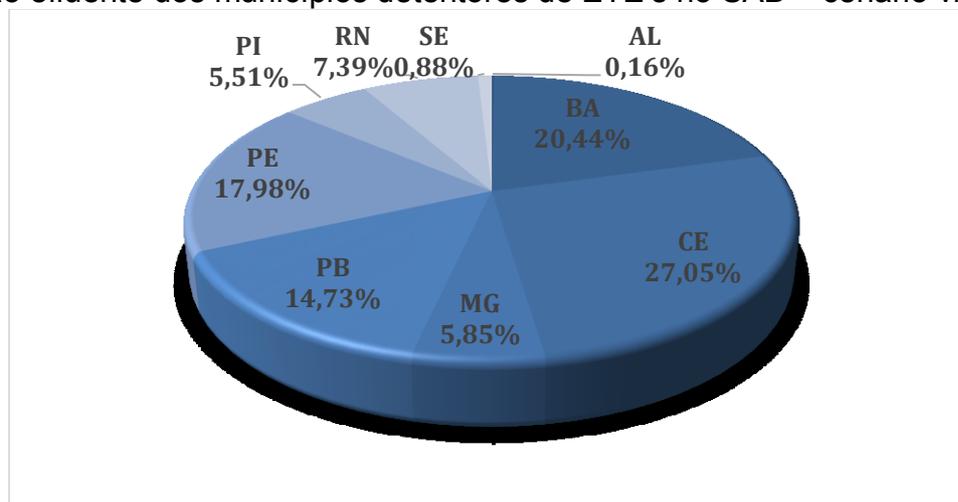
Fonte: Próprio autor (2020).

### 5.3.1 Cenário Vigente – Quantificação

A disponibilidade de efluente, resultante do volume atualmente coletado e tratado (disponível ao reúso agrícola) é de **5.624,90(l/s)**. Na formação deste resultado, não foram computadas as vazões de 64 municípios detentores de ETE's (19,6%) do total, em função da indisponibilidade de dados, na base utilizada.

A participação dos municípios detentores de ETE's na disponibilidade efluente do cenário vigente está representada, por Estado, na Figura 8:

**Figura 8** - Distribuição percentual da participação dos Estados na composição da vazão efluente dos municípios detentores de ETE's no SAB – cenário vigente.



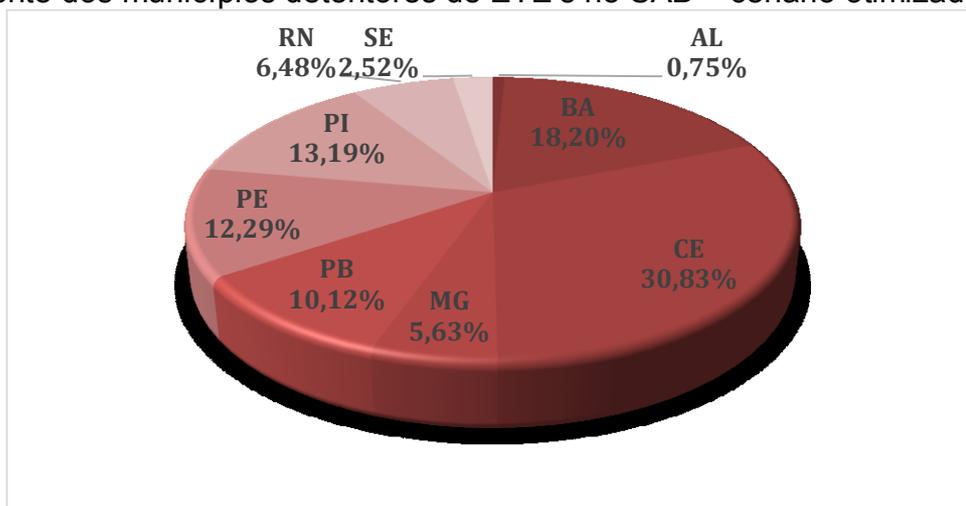
Fonte: Próprio autor (2020).

### 5.3.2 Cenário Otimizado – Quantificação

A disponibilidade de efluente, resultante da vazão total efluente dos respectivos municípios – considerando que todo o volume gerado seja coletado e tratado e disponibilizado ao reúso agrícola, é de 13.977,20(l/s).

A participação dos municípios detentores de ETE's na disponibilidade efluente do cenário otimizado está representada, por Estado, na Figura 9:

**Figura 9** - Distribuição percentual da participação dos Estados na composição da vazão efluente dos municípios detentores de ETE's no SAB – cenário otimizado.



Fonte: Próprio autor (2020).

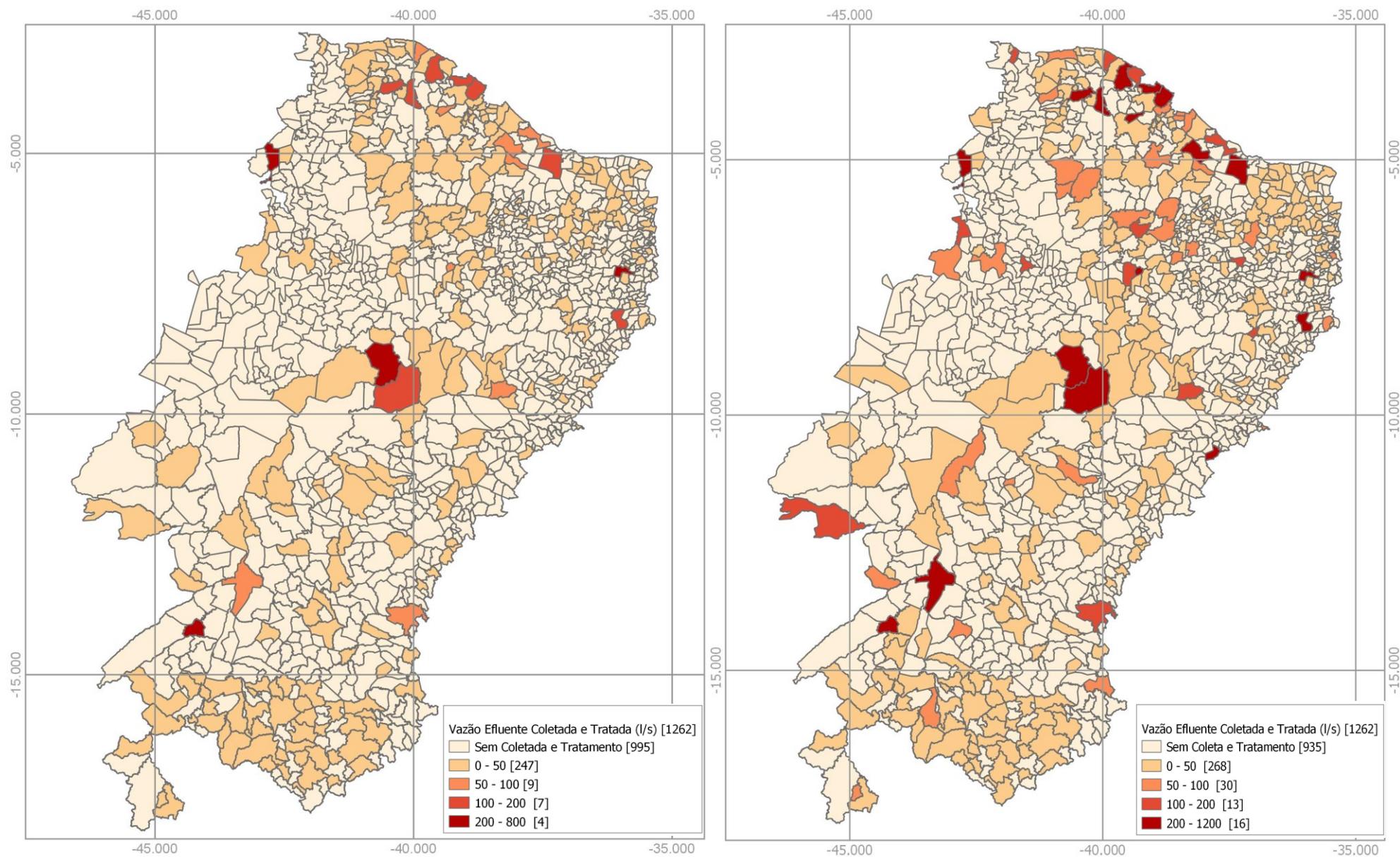
### 5.3.3 Análise Gráfica

No mapa que segue (Figura 10), pode ser observada a distribuição espacial das vazões de esgoto doméstico coletadas e tratadas nos municípios detentores de ETE's, no Semiárido brasileiro.

Assim pode ser observado que no Cenário vigente, nos permite identificar que 93,20% dos 327 municípios detentores de ETE's no SAB dispõe de vazão alocada na faixa de 0 (zero) a 50 (cinquenta) litros por segundo. Permite ainda, constatar que 10,09% desses municípios não estão operando suas estações.

No Cenário otimizado, observa-se que 81,96% dos 327 municípios detentores de ETE's no SAB dispõe de vazão alocada na faixa de 0 (zero) a 50 (cinquenta) litros por segundo. A figura nos permite observar ainda, que, aproximadamente, metade (47,49%) da vazão efluente dos municípios detentores de ETE's no SAB está concentrada nos Estados da Bahia e do Ceará. Os 52,51% restantes, estão distribuídas pelos demais Estados contribuintes.

**Figura 10 – Mapa de Vazão de Esgoto Doméstico Coletada e Tratada no SAB  
(Cenário vigente – esquerda / Cenário otimizado – direita)**



Fonte: próprio autor – 2020.

#### 5.3.4 Análise Comparativa

Em análise comparativa, pode-se observar no cenário otimizado, uma ampliação percentual das contribuições dos Estados de Alagoas, Sergipe, Piauí e Ceará, o que denota baixo índice de coleta e tratamento da vazão vigente. Por conseguinte, apresentam os maiores índices de agregação de vazão a ser coletada e tratada, no cenário otimizado: 91,3%, 86,0%, 83,2% e 64,7%, respectivamente.

Em ordem de grandeza comparativa, a vazão efluente oriunda das ETE's dos municípios do SAB pode ser comparada à vazão do Ramal do Agreste – obra hídrica derivada do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF, destinada ao abastecimento de um contingente de 2,2 milhões de pessoas distribuídas em 70 municípios da região agreste de Pernambuco, cuja capacidade de vazão corresponde a 8 mil litros por segundo.

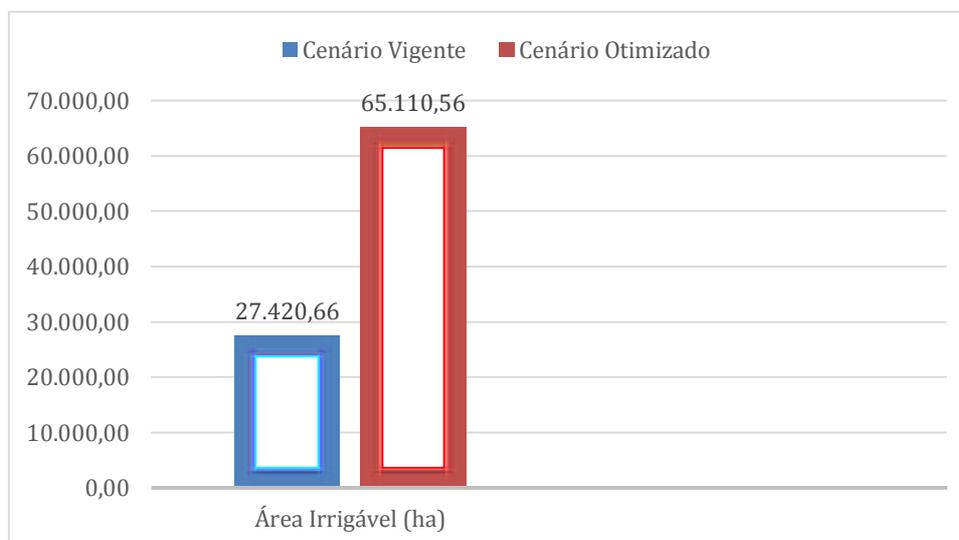
No cenário vigente, a vazão facilmente aplicável ao reúso agrícola, corresponde a 5,6 mil litros por segundo (70,7%) da vazão do Ramal do Agreste e no cenário otimizado, a vazão facilmente aplicável ao reúso agrícola corresponde a aproximadamente 14 mil litros por segundo, o que corresponde a 1,74 vezes a vazão da referida obra.

Ainda, considerando-se apenas o cenário otimizado, as vazões do esgoto tratado pelas ETE's do SAB geram um volume anual, aproximadamente correspondente ao volume do açude público Epitácio Pessoa (440.784,979,20m<sup>3</sup>), reservatório responsável pelo abastecimento do município de Campina Grande/PB - terceiro maior contingente populacional do Semiárido.

#### 5.4 AGREGAÇÃO DE ÁREA IRRIGÁVEL

Os dados relativos à agregação de área irrigável foram sistematizados a partir da determinação da disponibilidade de água residuária nos municípios detentores de ETE's, em função dos dois cenários metodologicamente definidos, estando apresentados conforme a Figura 11:

**Figura 11** - Comparação quantitativa da área média irrigável dos municípios detentores de ETE's no SAB.



**Fonte:** Próprio autor (2020).

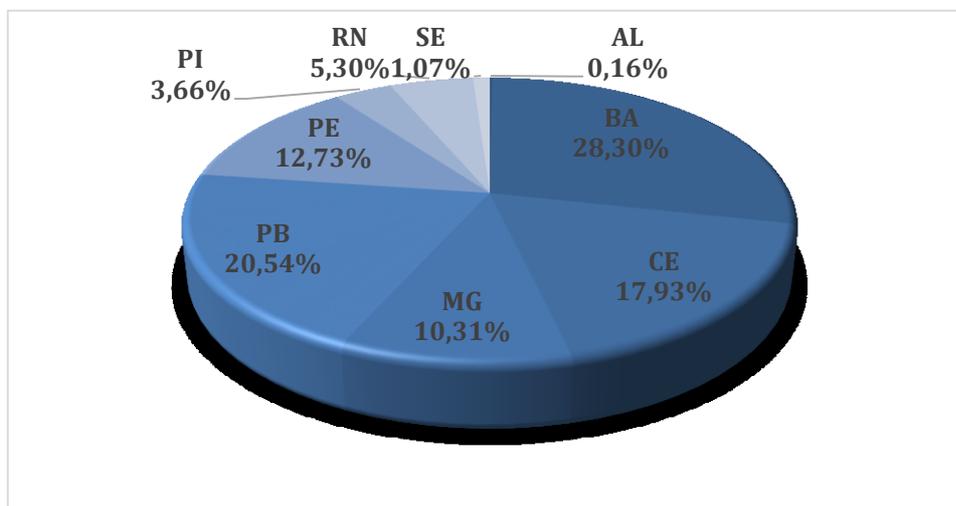
#### 5.4.1 Cenário Vigente – Quantificação

Uma vez definida a deficiência hídrica e a disponibilidade de água residuária para cada município detentor de ETE, foi possível calcular a área irrigável, a qual corresponde a **27.420,66 (ha)**.

Na formação deste resultado, não foram computadas as áreas de 64 municípios detentores de ETE's (19,6%) do total, em função da indisponibilidade de dados de vazão, na base utilizada.

A participação dos municípios detentores de ETE's na agregação de área do cenário vigente está representada, por Estado, conforme a Figura 12:

**Figura 12** - Distribuição percentual da participação dos Estados na composição da área média irrigável no SAB – cenário vigente.



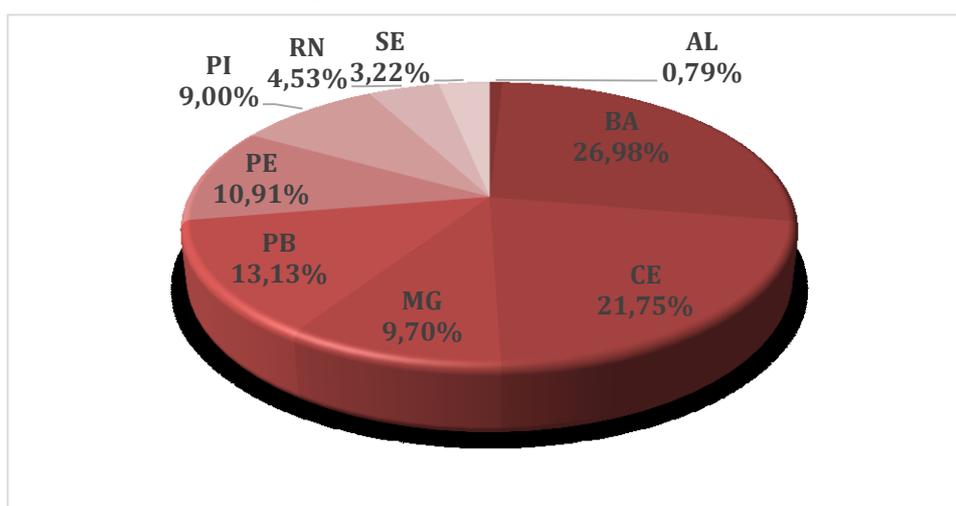
Fonte: Próprio autor (2020).

#### 5.4.2 Cenário Otimizado – Quantificação

A agregação da área irrigável – considerando a soma da área de todos os municípios detentores de ETE's no Semiárido, é de **65.110,56 (ha)**.

A participação desses municípios na integralização da área irrigável do cenário otimizado está representada, por Estado, conforme a Figura 13:

**Figura 13** - Distribuição percentual da participação dos Estados na composição da área média irrigável no SAB – cenário otimizado.



Fonte: Próprio autor (2020).

### 5.4.3 Análise Gráfica

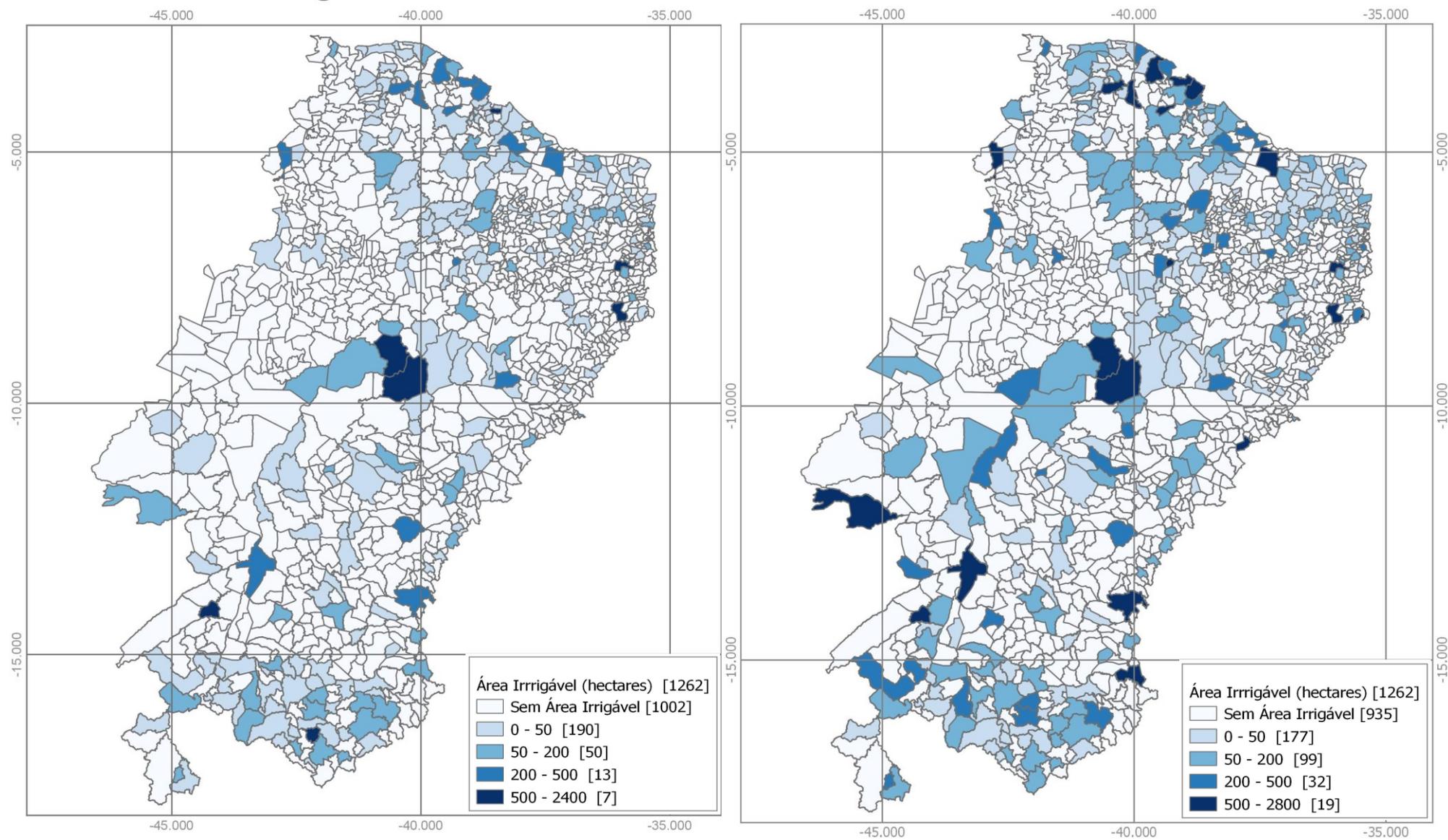
A distribuição da agregação de área irrigável no SAB pode ser espacialmente analisada conforme o mapa que segue (Figura 14).

Para o cenário vigente, a análise nos permite identificar que 73,08% dos municípios detentores de ETE's no SAB, serão contemplados com a agregação de áreas irrigáveis alocadas na faixa de 0 (zero) a 50 (cinquenta) hectares, perfazendo o caráter típico de pequenas áreas, para agricultura periurbana. Ainda assim, anota-se a ocorrência de 7 (sete) municípios com área irrigável alocada na faixa superior a 500 (quinhentos) hectares, o que implicaria na instalação de projetos de grande monta.

Já no cenário otimizado, pode-se identificar que 54,13% dos municípios detentores de ETE's no SAB, serão contemplados com a agregação de áreas irrigáveis alocadas na faixa de 0 (zero) a 50 (cinquenta) hectares; 30,28% na faixa de 50 a 200 hectares, perfazendo o caráter típico de pequenas áreas, para agricultura periurbana. Ainda assim, anota-se a ocorrência significativa de 19 (dezenove) municípios – 5,81% com área irrigável alocada na faixa superior a 500 (quinhentos) hectares.

Constata-se ainda, que 73,08% (cenário vigente) e 54,13% (cenário otimizado) dos municípios detentores de ETE's no SAB, serão contemplados com a agregação de áreas irrigáveis de até 50 (ha).

**Figura 14 – Mapa de Agregação de Área Irrigável, em decorrência da Implementação do Reúso Agrícola no SAB (Cenário vigente – esquerda / Cenário otimizado – direita)**



Fonte: próprio autor – 2020.

#### 5.4.4 Análise Comparativa

Em análise comparativa entre os cenários, pode-se observar que, na condição de atingimento do cenário otimizado, os Estados de Alagoas, Sergipe, Piauí e Ceará, apresentam os maiores índices de agregação de área irrigável para o cenário otimizado: 91,1%, 86,0%, 83,1% e 35,3%, respectivamente.

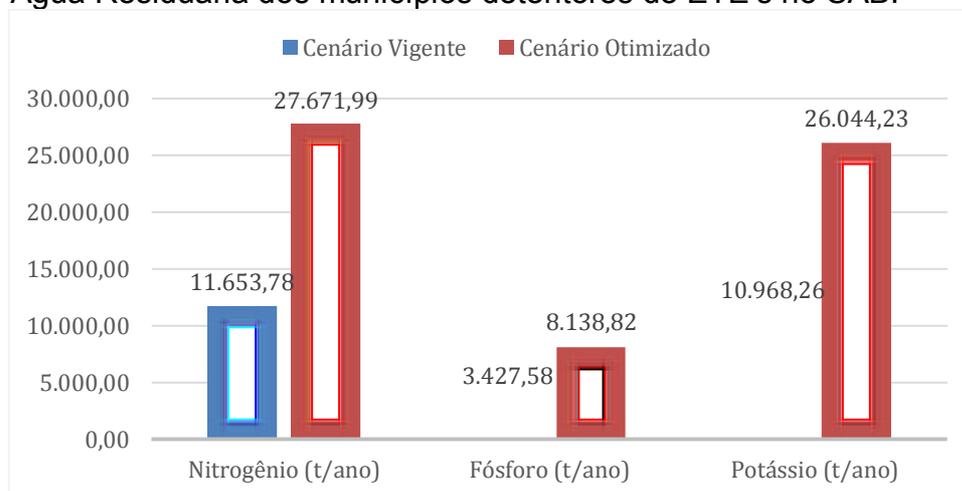
Em ordem de grandeza comparativa, a agregação de área irrigável decorrente do reúso agrícola com utilização do efluente das ETE's dos municípios do SAB pode ser comparada à área de produção do Perímetro Público Irrigado Senador Nilo Coelho – referência em tamanho, gestão e produtividade, situado no polo de irrigação Juazeiro/BA – Petrolina/PE, o qual dispõe de uma área irrigável de 18.667 ha.

No cenário vigente, a agregação de área irrigável, em função do efluente disponível, equivale a 1,5 vezes a área do “Nilo Coelho”. Já no cenário otimizado, a agregação de área irrigável proporcionada pelo reúso agrícola do efluente disponível nas ETE's do SAB, corresponde a aproximadamente 3,5 vezes o tamanho da área irrigável do referido perímetro.

#### 5.5 AGREGAÇÃO DE MACRONUTRIENTES – VNS

Os dados relativos à quantificação de macronutrientes foram sistematizados a partir da determinação dos volumes de água residuária nos municípios detentores de ETE's, em função dos dois cenários metodologicamente definidos, estando apresentados conforme a Figura 15:

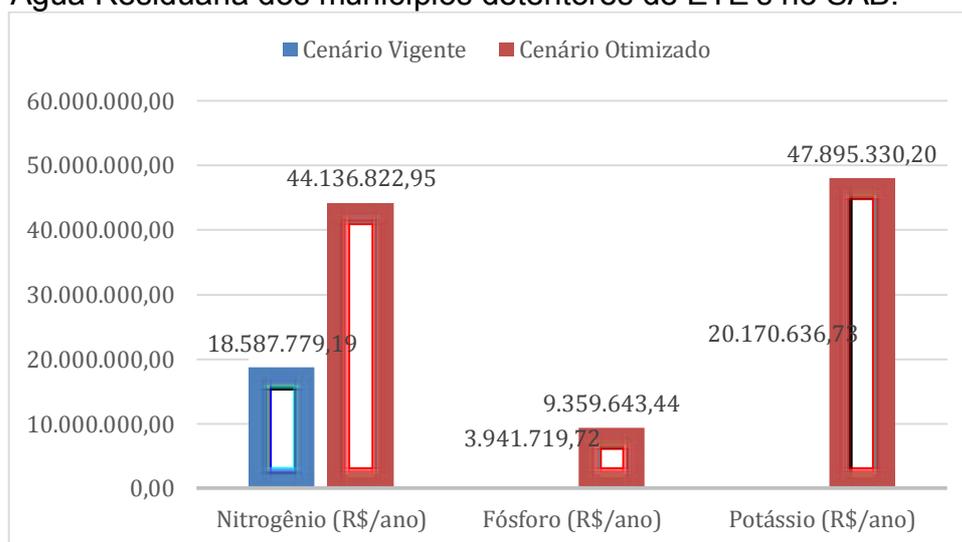
**Figura 15** – Representação Quantitativa da Disponibilização de Nutrientes da Água Residuária dos municípios detentores de ETE's no SAB.



Fonte: Próprio autor (2020).

Os dados relativos à valoração de macronutrientes foram sistematizados a partir do preço de mercado para aquisição dos respectivos insumos, estando os resultados calculados em função dos dois cenários metodologicamente definidos, e apresentados conforme a Figura 16:

**Figura 16** – Representação do Valor Monetário de Aquisição dos Macronutrientes da Água Residuária dos municípios detentores de ETE's no SAB.



Fonte: Próprio autor (2020).

#### 5.5.1 Cenário Vigente – Quantificação

Considerando-se os dados apresentados (Figura 15), o volume de água residuária, representa uma disponibilização anual de **11.653,78** toneladas de Nitrogênio (N); **3.427,58** toneladas de Fósforo (P) e **10.968,26** toneladas de Potássio (K).

#### 5.5.2 Cenário Vigente – Valoração

Considerando-se os quantitativos de macronutrientes disponibilizados pela água residuária e os valores de aquisição metodologicamente definidos, os dados apresentados (Figura 16) representam uma valoração anual de **R\$ 18.587.779,19** (dezoito milhões, quinhentos e oitenta e sete mil, setecentos e setenta e nove reais e dezenove centavos) para o Nitrogênio (N); **R\$ 3.941.719,72** (três milhões, novecentos e quarenta e um mil, setecentos e dezenove reais e setenta e dois centavos) para o Fósforo (P) e **R\$ 20.170.636,73** (vinte milhões, cento e setenta mil, seiscentos e trinta e seis reais e setenta e três centavos) para o Potássio (K).

### 5.5.3 Cenário Otimizado – Quantificação

Considerando-se os dados apresentados (Figura 15), o volume de água residuária, representa uma disponibilização anual de **27.671,99** toneladas de Nitrogênio (N); **8.138,82** toneladas de Fósforo (P) e **26.044,23** toneladas de Potássio (K).

### 5.5.4 Cenário Vigente – Valoração

Considerando-se os quantitativos de macronutrientes disponibilizados pela água residuária e os valores de aquisição metodologicamente definidos, os dados apresentados (Figura 16) representam uma valoração anual de **R\$ 44.136.822,95** (quarenta e quatro milhões, cento e trinta e seis mil, oitocentos e vinte e dois reais e noventa e cinco centavos) para o Nitrogênio (N); **R\$ 9.359.643,44** (nove milhões, trezentos e cinquenta e nove mil, seiscentos e quarenta e três reais e quarenta e quatro centavos) para o Fósforo (P) e **R\$ 47.895.330,20** (quarenta e sete milhões, oitocentos e noventa e cinco mil, trezentos e trinta reais e vinte centavos) para o Potássio (K).

## 5.6 MODELO DE DESENVOLVIMENTO – ASPECTO TÉCNICO

### 5.6.1 Núcleos de Desenvolvimento de Agricultura Periurbana – NDAP's

O Semiárido brasileiro abrange 1.262 municípios, cuja estrutura de esgotamento sanitário está atualmente apoiada na existência de 469 Estações de Tratamento de Esgoto, sob vários níveis tecnológicos e distribuídas conforme disposto na Tabela 6:

**Tabela 6** - Distribuição Quali-quantitativa das ETE's no SAB.

Estados	Nº de Municípios no SAB	Nº de Municípios com ETE's	Nº de ETE's
Alagoas	38	6	8
Bahia	278	63	96
Ceará	175	85	143
Maranhão	2	0	0
Minas Gerais	91	49	51
Paraíba	194	33	35
Pernambuco	123	23	36
Piauí	185	12	14
Rio Grande do Norte	147	54	84
Sergipe	29	2	2
<b>Total</b>	<b>1262</b>	<b>327</b>	<b>469</b>

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA) – 2018.

Dos dados apresentados, pode-se concluir que há possibilidade de implementação de **320 Núcleos de Desenvolvimento de Agricultura Periurbana – NDAP’s**, distribuídos no entorno das Estações de tratamento de Esgotos – ETE’s, cujas áreas variaram de 1,18 hectares no município de Pedro Avelino/AL a 4.670,90 hectares no município de Campina Grande/PB, considerando-se o Cenário Vigente ou de 1,98 hectares no município de Cajazeiras/AL a 5.692,59 hectares no município de Campina Grande/PB, considerando-se o Cenário Otimizado.

#### 5.6.2 Estações de Tratamento de Esgoto – ETE’s

Da análise da distribuição das ETE’s na região do Semiárido pode-se observar uma condição particularmente diferenciada do Estado do Ceará em relação à implementação da vertente “esgotamento sanitário” da Política Nacional de Saneamento Básico, objeto da lei nº 11.445/2007. Embora seja o 4º colocado em número de municípios inseridos no Semiárido (13,87%) sua infraestrutura de esgotamento sanitário abrange quase um terço (30,49%) de todas as estações de tratamento existentes no SAB.

Em análise comparativa, a infraestrutura de esgotamento sanitário do Estado do Ceará é numericamente compatível com a soma da infraestrutura dos Estados da Bahia e Minas Gerais (porção do Semiárido), que concentram (31,34%) das ETE’s existentes no SAB.

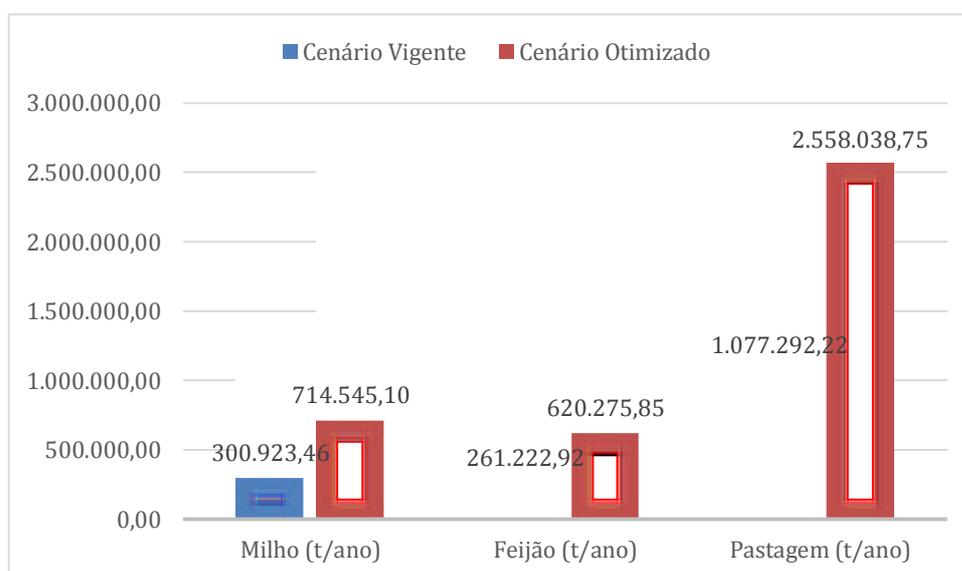
Cabe ainda observar que sendo o maior detentor de ETE’s do Semiárido, a infraestrutura de tratamento de esgoto do Estado do Ceará é numericamente semelhante ao somatório da infraestrutura dos Estados de Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba, Piauí, Alagoas e Sergipe, que concentram, juntos, (31,30%) da ETE’s do Semiárido.

É relevante mencionar ainda, que o número de ETE’s atribuída aos Estados nem sempre guardam relação com o número de municípios em que tais estruturas se fazem presente, vez que alguns municípios concentram duas ou mais estações.

## 5.7 AGREGAÇÃO DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA (VPA) – ASPECTO ECONÔMICO

Os dados relativos à estimativa de produção agropecuária foram sistematizados a partir da determinação da área irrigável nos municípios detentores de ETE's, em função dos dois cenários metodologicamente definidos, estando apresentados conforme a Figura 17:

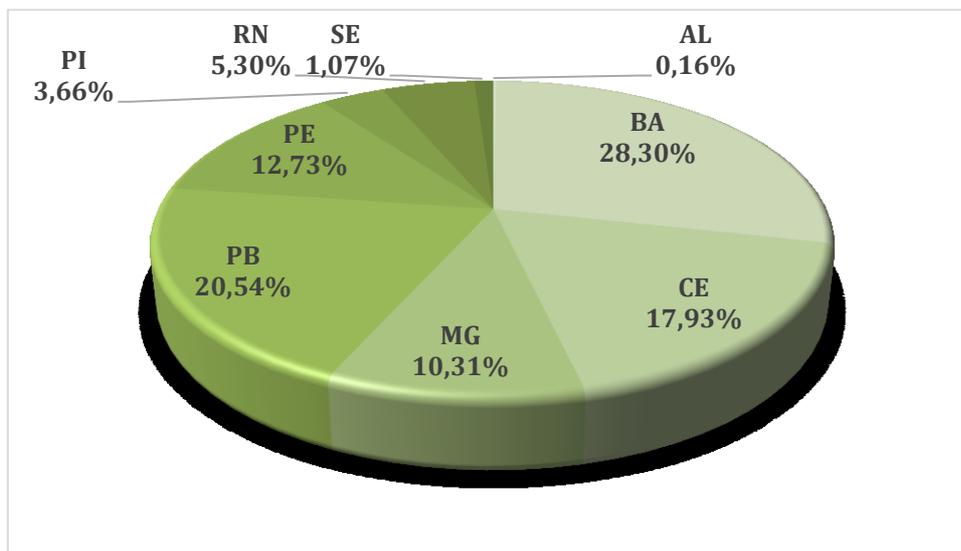
**Figura 17** - Comparação quantitativa da produção agropecuária dos municípios detentores de ETE's no SAB.



Fonte: Próprio autor (2020).

A participação dos municípios detentores de ETE's na agregação da produção agropecuária está representada, por Estado, na Figura 18:

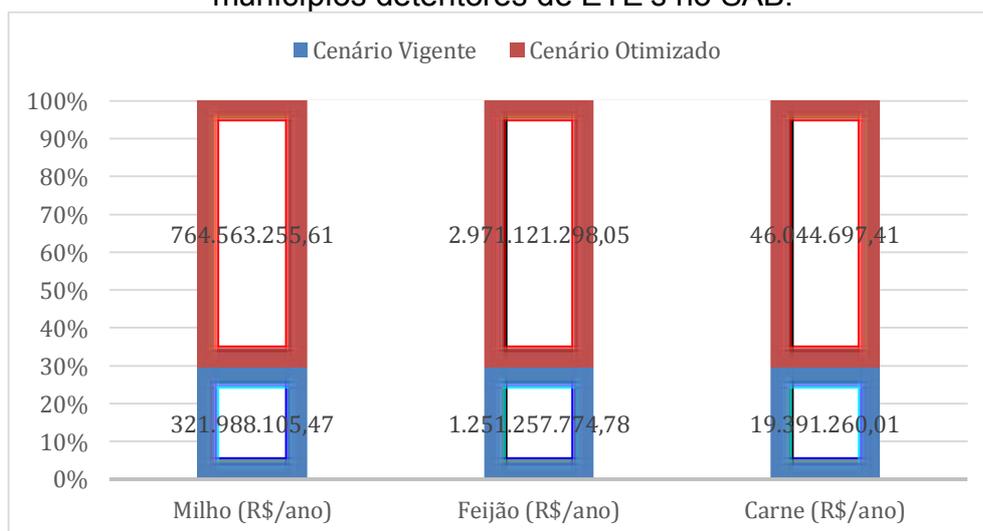
**Figura 18-** Distribuição percentual da participação dos Estados na composição da produção agropecuária no SAB.



Fonte: Próprio autor (2020).

Os dados relativos ao valor monetário da produção agropecuária foram sistematizados a partir da determinação dos quantitativos produzidos e dos valores de mercado, metodologicamente definidos, para aquisição destes insumos, considerando os dois cenários definidos e apresentados conforme a Figura 19:

**Figura 19 -** Comparação quantitativa do valor da produção agropecuária dos municípios detentores de ETE's no SAB.



Fonte: Próprio autor (2020).

### 5.7.1 Cenário Vigente – Quantificação

Considerando-se os dados apresentados (Figura 17), a agregação da produção agropecuária calculada, corresponde a **300.923,46** (t/ano) de Feijão; **261.222,92** (t/ano) de Milho e **1.077.292,22** (t/ano) de Pastagem.

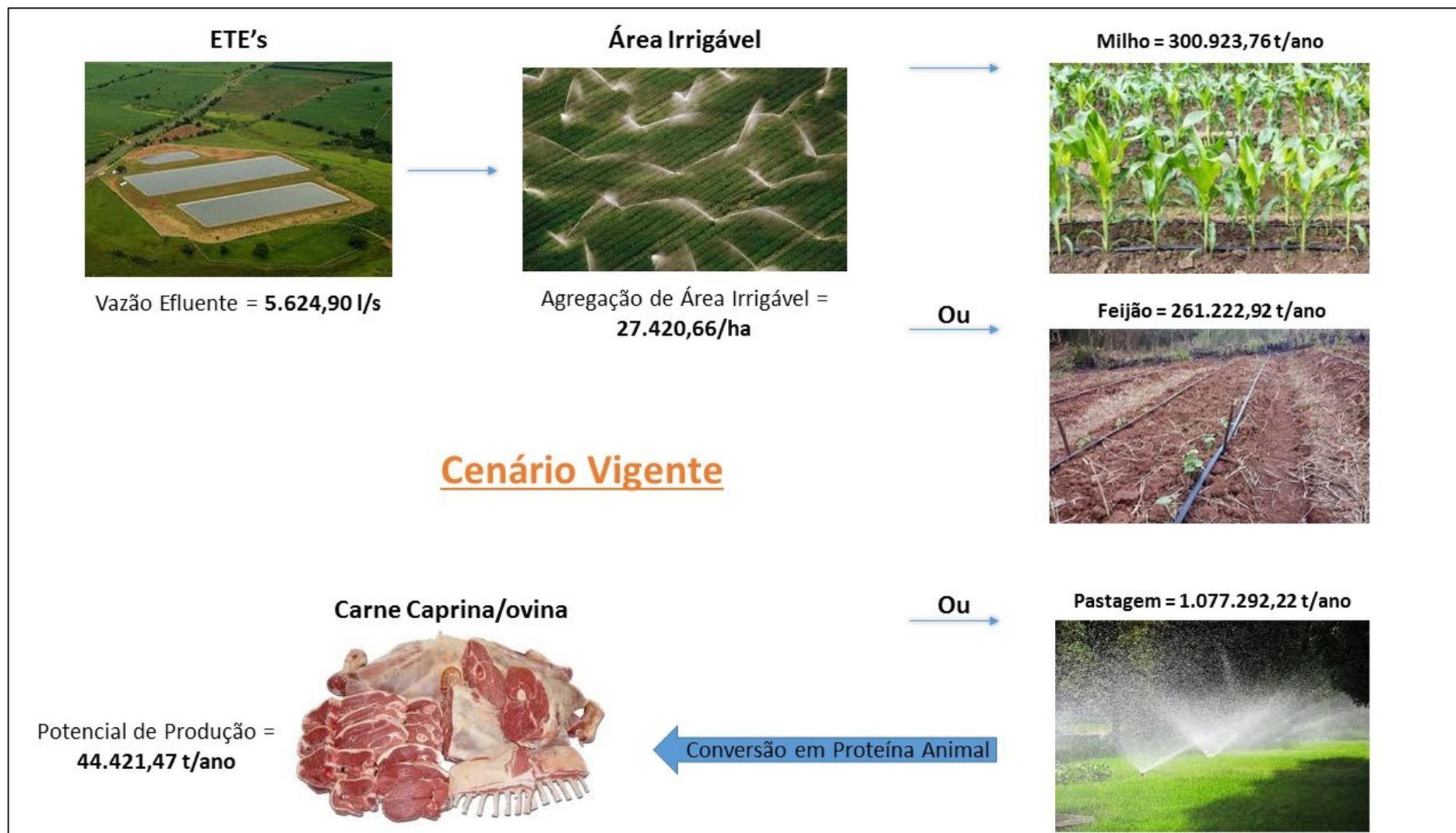
A conversão da pastagem em proteína animal (carne caprina/ovina), nos termos das orientações metodológicas, gerou uma produção de **44.421,47** (t/ano) de Carne caprina/ovina.

### 5.7.2 Cenário Vigente – Valoração

Considerando-se os quantitativos da produção agropecuária e os valores metodologicamente definidos de aquisição dos insumos, os dados apresentados (Figura 19) representam uma valoração anual de **R\$ 321.988.105,47** (trezentos e vinte e um milhões, novecentos e oitenta e oito mil, cento e cinco reais e quarenta e sete centavos) para o Milho; **R\$ 1.251.257.774,78** (um bilhão, duzentos e cinquenta e um milhões, duzentos e cinquenta e sete mil, setecentos e setenta e quatro reais e setenta e oito centavos) para o Feijão e **R\$ 19.391.260,01** (dezenove milhões, trezentos e noventa e um mil, duzentos e sessenta reais e um centavo) para a Carne caprina/ovina.

O fluxo da estimativa de produção agropecuária no cenário vigente pode ser observado conforme a Figura 20:

**Figura 20-** Fluxo vigente da estimativa da produção agropecuária no SAB



Fonte: próprio autor – 2020.

### 5.7.3 Cenário Otimizado – Quantificação

Considerando-se os dados apresentados (Figura 17), a agregação da produção agropecuária calculada, corresponde a **714.545,10** (t/ano) de feijão; **620.275,85** (t/ano) de milho e **2.558.038,75** (t/ano) de pastagem.

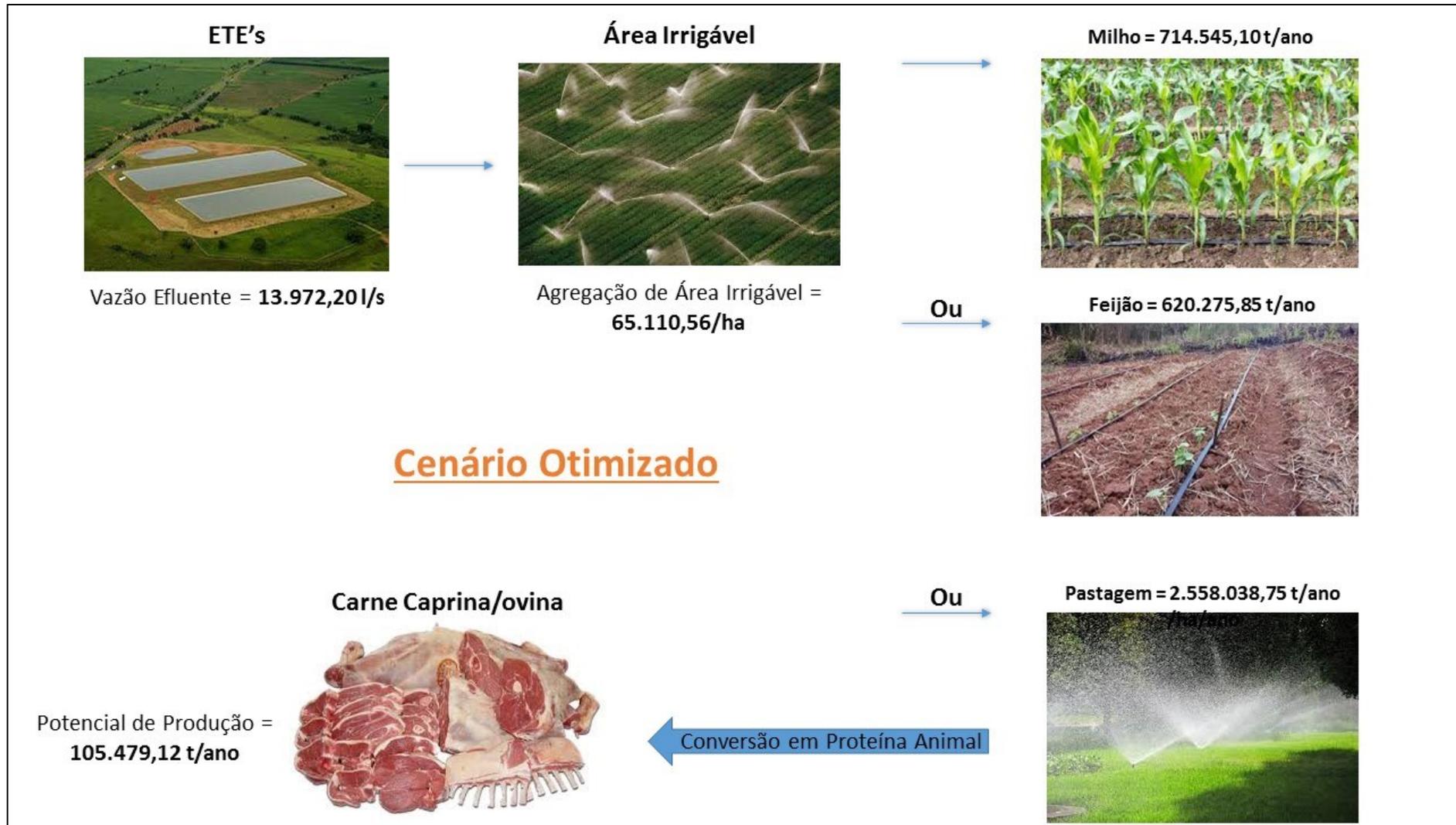
A conversão da pastagem em proteína animal (carne caprina/ovina), nos termos das orientações metodológicas, gerou uma produção de **105.479,12** (t/ano) de carne caprina/ovina.

### 5.7.4 Cenário Otimizado – Valoração

Considerando-se os quantitativos da produção agropecuária e os valores metodologicamente definidos de aquisição dos insumos, os dados apresentados (Figura 19) representam uma valoração anual de **R\$ 764.563.255,61** (setecentos e sessenta e quatro milhões, quinhentos e sessenta e três mil, duzentos e cinquenta e cinco reais e sessenta e um centavos) para o Milho; **R\$ 2.971.121.298,05** (dois bilhões, novecentos e setenta e um milhões, cento e vinte e um mil, duzentos e noventa e oito reais e cinco centavos) para o Feijão e **R\$ 46.044.697,41** (quarenta e seis milhões, quarenta e quatro mil, seiscentos e noventa e sete reais e quarenta e um centavos) para a Carne caprina/ovina.

O fluxo da estimativa de produção agropecuária no cenário vigente pode ser observado conforme a Figura 21:

**Figura 21-** Fluxo otimizado da estimativa da produção agropecuária no SAB



Fonte: próprio autor – 2020.

### 5.7.5 Análise Comparativa

Em análise comparativa entre os cenários, a participação dos Estados na produção manteve-se percentualmente proporcional nos dois cenários (Figura 20), visto que não houve alteração nos índices de produtividade e sim, apenas alteração do quantitativo de área irrigável.

Em relação à agregação produtiva, quando comparado os volumes produzidos por cada uma das culturas em ambos os cenários, a relação se manteve proporcionalmente constante, na casa de 2,39 vezes maior, no cenário otimizado, do que no cenário vigente.

Conforme dados publicados no Boletim ETENE de maio de 2019, a produção de Feijão para região Nordeste na safra 2018/2019 foi da ordem de 668,4 mil toneladas (21,8%) da produção nacional, enquanto que a produção de Milho foi da ordem de 6.705,7 milhões de toneladas (6,9%) da produção nacional.

Portanto, a produção de Feijão advinda da implementação do reúso agrícola no cenário vigente, corresponde a um incremento produtivo da ordem de 39,1% em relação à produção atual do Nordeste, enquanto que no caso do Milho, o incremento é da ordem de 4,5%.

Já no cenário otimizado, o incremento sobre a produção de Feijão é da ordem de 92,7% em relação à produção atual do Nordeste, enquanto que no caso do Milho, o incremento é da ordem de 10,7%

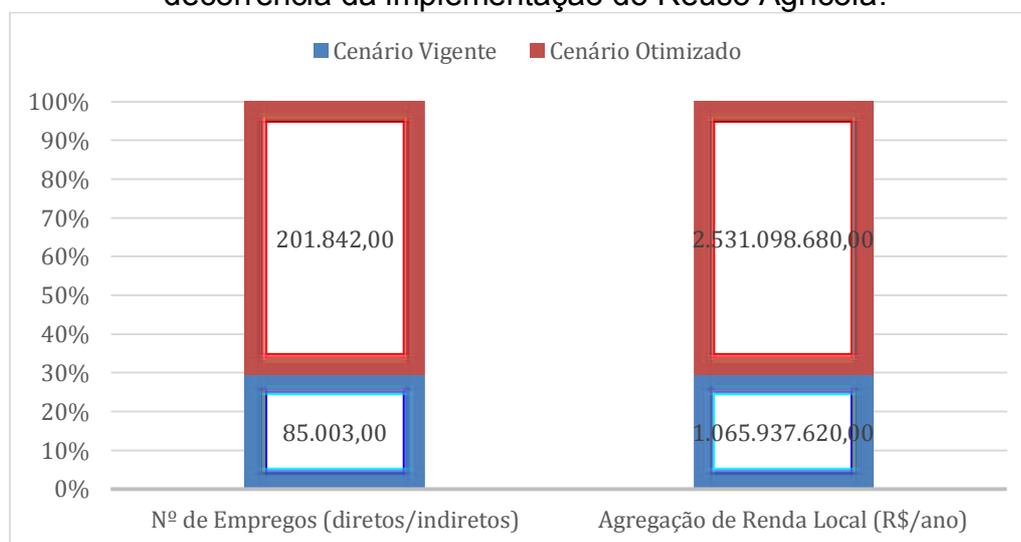
Ainda sobre o aspecto comparativo, cabe citar que os dados disponibilizados pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco – CODEVASF no endereço: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/projetos-publicos-de-irrigacao/elenco-de-projetos/em-producao/senador-nilo-coelho>, demonstram que o valor comercializado de toda a produção gerada no projeto “Nilo Coelho” no ano de 2019, foi da ordem de **R\$ 1,5 bilhões**.

Esse resultado guarda estreita relação com os dados gerados referentes à produção das culturas de milho e feijão e de proteína animal (caprina/ovina), guardadas as respectivas condições de agregação de valor inerente a cada um dos ramos de produção, e as devidas proporções entre a área irrigável decorrente da implementação do reúso agrícola e a área instalada do referido projeto.

## 5.8 AGREGAÇÃO DE RENDA LOCAL (VRL) – ASPECTO ECONÔMICO

Conforme os dados socioeconômicos da população sob a área de influência direta do Perímetro Público de Irrigação Nilo Coelho, foi possível estabelecer uma relação causa-efeito da implementação de área irrigada em relação à geração de empregos (unidade de área – hectare, por número de empregos gerados), na proporção de 1,2 (diretos) e 1,9 (indiretos), respectivamente. Diante da relação estabelecida, foi calculada a geração de empregos, tanto diretos quanto indiretos, para ambos os cenários, conforme demonstrado na Figura 22.

**Figura 22** – Quantificação e Valoração da Agregação de Renda Local, em decorrência da implementação do Reúso Agrícola.



Fonte: Próprio autor (2020).

Para o Cenário vigente, considerando-se a agregação de 27.420,66 hectares de área irrigável, a citada relação reflete a criação de **32.904 empregos diretos** e **52.099 empregos indiretos**, os quais proporcionam uma agregação de renda anual da ordem de **R\$ 1.065.937.620,00** (um bilhão, sessenta e cinco milhões, novecentos e trinta e sete mil e seiscentos e vinte reais), dos quais (40%) advindos da agregação de mão-de-obra direta e (60%) da indireta, considerando-se o piso nacional do salário mínimo, de R\$ 1.045,00 (um mil e quarenta e cinco reais).

No Cenário otimizado, considerando-se a agregação de 65.110,56 hectares de área irrigável, a citada relação reflete a criação de **78.132 empregos diretos** e **123.710 empregos indiretos**, os quais proporcionam uma agregação de renda anual da ordem de **R\$ 2.531.098.680,00** (dois bilhões, quinhentos e trinta e um milhões, noventa e

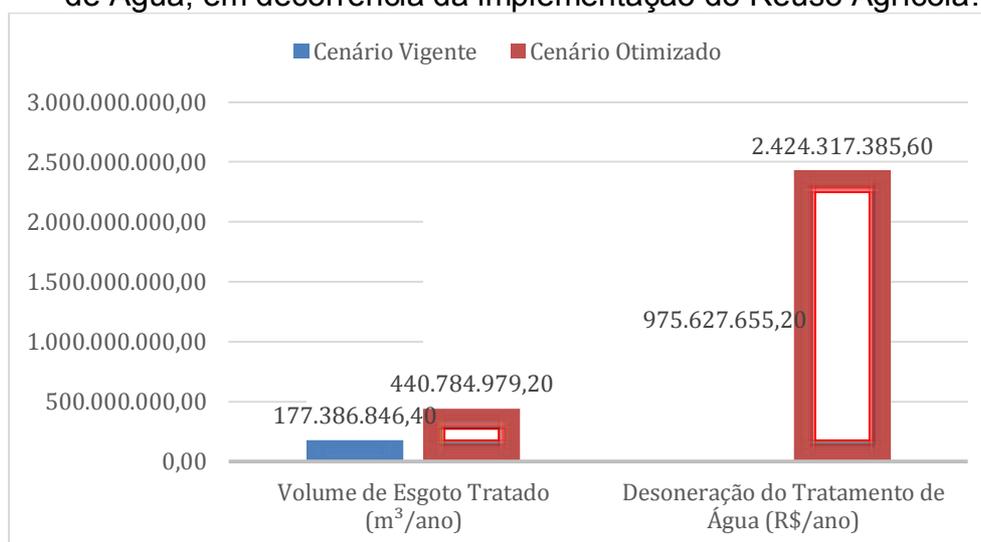
oito mil e seiscentos e oitenta reais), mantendo-se a mesma proporção percentual do cenário vigente e a mesma base de cálculo dos valores.

É relevante ainda, considerar os impactos diretos dessa agregação de renda sobre o desenvolvimento de várias outras cadeias de produtos e serviços.

## 5.9 DESONERAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA (VTA) – ASPECTO AMBIENTAL

A desoneração monetária sobre o tratamento de água para abastecimento se deu a partir das vazões coletadas e tratadas pelas Estações de Tratamento de Esgoto - ETE's, situadas nos municípios do SAB e do custo de tratamento da água de abastecimento, conforme determinação metodológica, conforme demonstrado na Figura 23.

**Figura 23** – Quantificação e Valoração da Desoneração do Sistema de Tratamento de Água, em decorrência da implementação do Reúso Agrícola.



Fonte: Próprio autor (2020).

Para o Cenário vigente, considerando-se que a vazão atualmente coletada e tratada no Semiárido brasileiro, de **5.624,90 litros por segundo** gera um volume efluente anual de 177.386.846,40m³ e a aplicação do custo médio do tratamento de água de R\$ 5,50/m³, sobre o volume efluente tratado pelas ETE's do Semiárido, gera uma desoneração sobre o tratamento de água da ordem de **R\$ 975.627.655,20** (novecentos e setenta e cinco milhões, seiscentos e vinte e sete mil seiscentos e cinquenta e cinco reais e vinte centavos), em função da eliminação das descargas poluentes sobre os corpos hídricos.

No Cenário otimizado, considerando-se que a coleta e tratamento integral da vazão atualmente gerada nos municípios do SAB, de **13.997,20 litros por segundo** gera um volume efluente anual de 440.784.979,20m<sup>3</sup>, e a aplicação do referido custo médio do tratamento de sobre o volume efluente tratado pelas ETE's, a desoneração sobre o tratamento de água é da ordem de **R\$ 2.424.317.385,60** (dois bilhões, quatrocentos e vinte e quatro milhões, trezentos e dezessete mil, trezentos e oitenta e cinco reais e sessenta centavos), em função da eliminação das descargas poluentes sobre os corpos hídricos.

#### 5.10 DESONERAÇÃO DO SISTEMA DE SAÚDE PÚBLICA (VSP) – ASPECTO AMBIENTAL

Os dados relativos à desoneração monetária sobre o Sistema Público de Saúde foram disponibilizados considerando toda a região Nordeste e, a partir destes, foi feito um recorte para representar a situação do Semiárido brasileiro, modulado em função da densidade populacional, considerando uma condição de uniformidade hidro sanitárias para a região, conforme demonstrado na Figura 24.

**Figura 24** – Quantificação e Valoração da Desoneração do Sistema de Saúde, em decorrência da implementação do Reúso Agrícola.



**Fonte:** Próprio autor (2020).

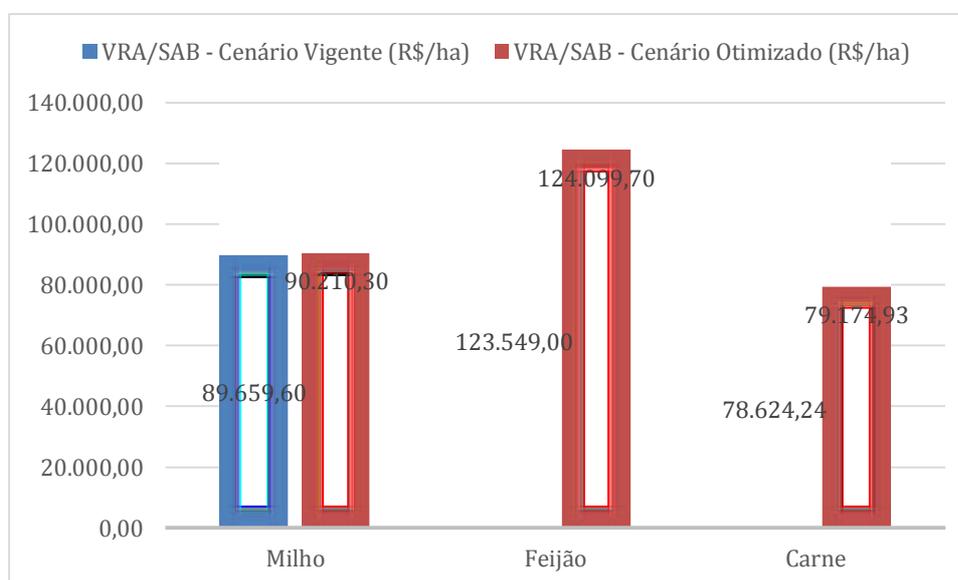
Conforme demonstrado na Figura 24, considerando-se a ocorrência de **48.448 internações anuais**, decorrentes de DRSAl no Semiárido brasileiro, causadas por doenças relacionadas ao saneamento inadequado, principalmente àquelas transmitida pela via feco-oral ou por meio de inseto vetor e ao considerarmos o valor médio gasto pelo SUS para custear uma internação resultante das DRSAl's (R\$

1.078,93), podemos afirmar que a ausência de esgotamento sanitário no SAB causa um impacto financeiro sobre o sistema público de saúde, corresponde ao valor anual de **R\$ 52.271.810,23** (cinquenta e dois milhões duzentos e setenta e um mil oitocentos e dez reais e vinte e três centavos).

### 5.11 VALORAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Os dados relativos à valoração do reuso agrícola foram sistematizados a partir das constantes da fórmula utilizada, em função dos dois cenários metodologicamente definidos, estando apresentados conforme a Figura 25:

**Figura 25** - Comparação quantitativa da Valoração do Reuso Agrícola – VRA no SAB, em função da produção agropecuária.



Fonte: Próprio autor (2020).

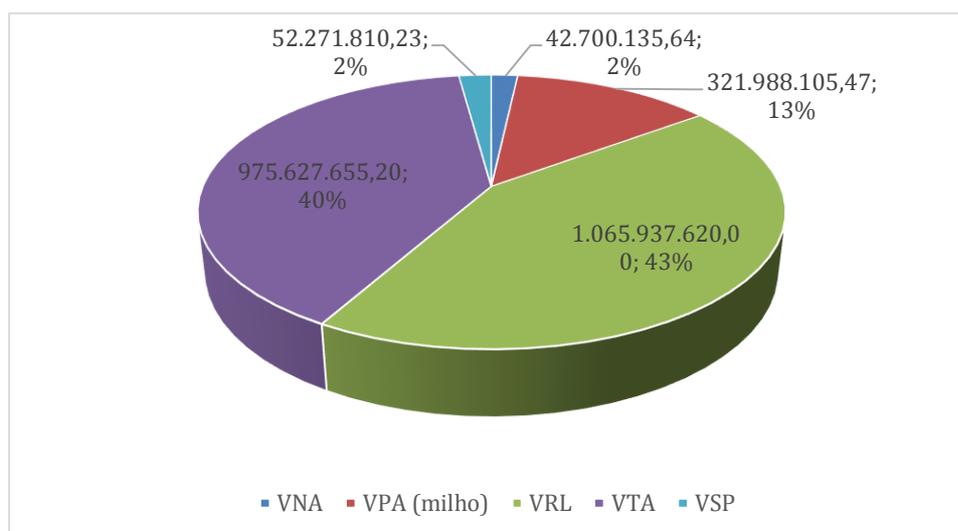
Em termos práticos, a valoração representa o quanto de “riqueza” pode ser gerado através da implementação do reuso agrícola, por unidade de área.

Os dados apresentados (Figura 25) demonstram que a valoração do reuso agrícola vai variar em função da escolha da variável de produção (VPA).

#### 5.11.1 Valoração considerando a VPA Milho

A participação da variável (VPA Milho) na formação da valoração do reuso agrícola está configurada conforme apresentado na Figura 26.

**Figura 26** - Distribuição percentual da participação dos fatores na composição da valoração do reúso agrícola no SAB – VPA Milho.



Fonte: Próprio autor (2020).

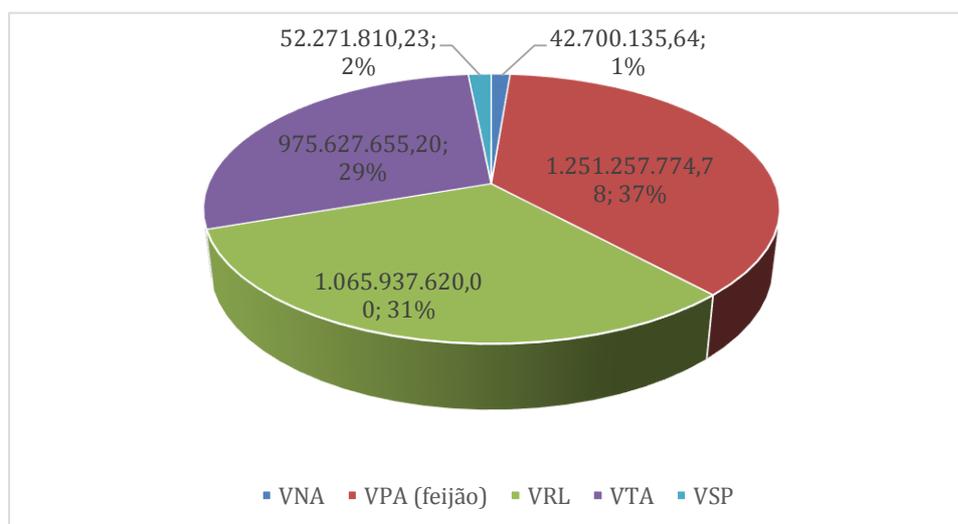
No Cenário vigente, considerando que toda a área irrigável seja ocupada pela cultura do Milho, a valoração resultante é de **R\$ 89.659,60** (oitenta e nove mil, seiscentos e cinquenta e nove reais e sessenta centavos) para cada hectare irrigado, o que implica numa valoração total, da ordem de **2,45** bilhões por ano.

Para o Cenário otimizado, considerando que toda a área irrigável seja ocupada pela cultura do Milho, a valoração resultante é de **R\$ 90.210,30** (noventa mil, duzentos e dez reais e trinta centavos) para cada hectare irrigado, o que implica numa valoração total, da ordem de **5,87** bilhões por ano.

#### 5.11.2 Valoração considerando a VPA Feijão

A participação da variável (VPA Feijão) na formação da valoração do reúso agrícola está configurada conforme apresentado na Figura 27.

**Figura 27** - Distribuição percentual da participação dos fatores na composição da valoração do reúso agrícola no SAB – VPA Feijão.



Fonte: Próprio autor (2020).

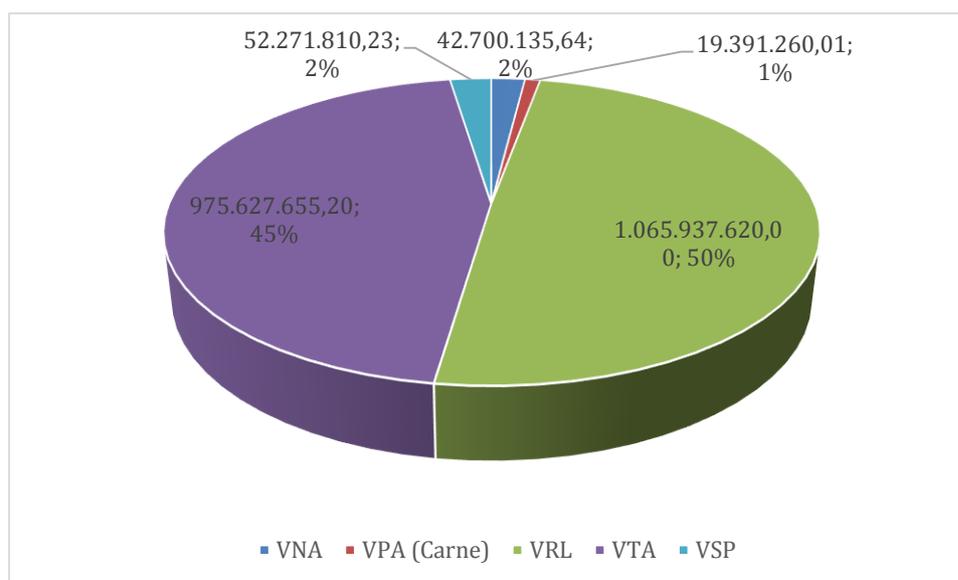
No Cenário vigente, considerando que toda a área irrigável seja ocupada pela cultura do Feijão, a valoração resultante é de **R\$ 123.549,00** (cento e vinte e três mil, quinhentos e quarenta e nove reais) para cada hectare irrigado, o que implica numa valoração total, da ordem de **3,38** bilhões por ano.

Para o Cenário otimizado, considerando que toda a área irrigável seja ocupada pela cultura do Feijão, a valoração resultante é de **R\$ 124.099,70** (cento e vinte e quatro mil, noventa e nove reais e setenta centavos) para cada hectare irrigado, o que implica numa valoração total, da ordem de **8,08** bilhões por ano.

### 5.11.3 Valoração considerando a VPA Carne

A participação da variável (VPA Carne) na formação da valoração do reúso agrícola está configurada conforme apresentado na Figura 28.

**Figura 28** - Distribuição percentual da participação dos fatores na composição da valoração do reuso agrícola no SAB – VPA Carne.



Fonte: Próprio autor (2020).

No Cenário vigente, considerando que toda a área irrigável seja ocupada com pastagem, designada à produção de Carne caprina/ovina, a valoração resultante é de **R\$ 78.624,24** (setenta e oito mil, seiscentos e vinte e quatro reais e vinte e quatro centavos) para cada hectare irrigado, o que implica numa valoração total, da ordem de **2,15** bilhões por ano.

Para o Cenário otimizado, considerando que toda a área irrigável seja ocupada com pastagem, designada à produção de Carne caprina/ovina, a valoração resultante é de **R\$ 79.174,93** (setenta e nove mil, cento e setenta e quatro reais e noventa e três centavos) para cada hectare irrigado, o que implica numa valoração total, da ordem de **5,15** bilhões por ano.

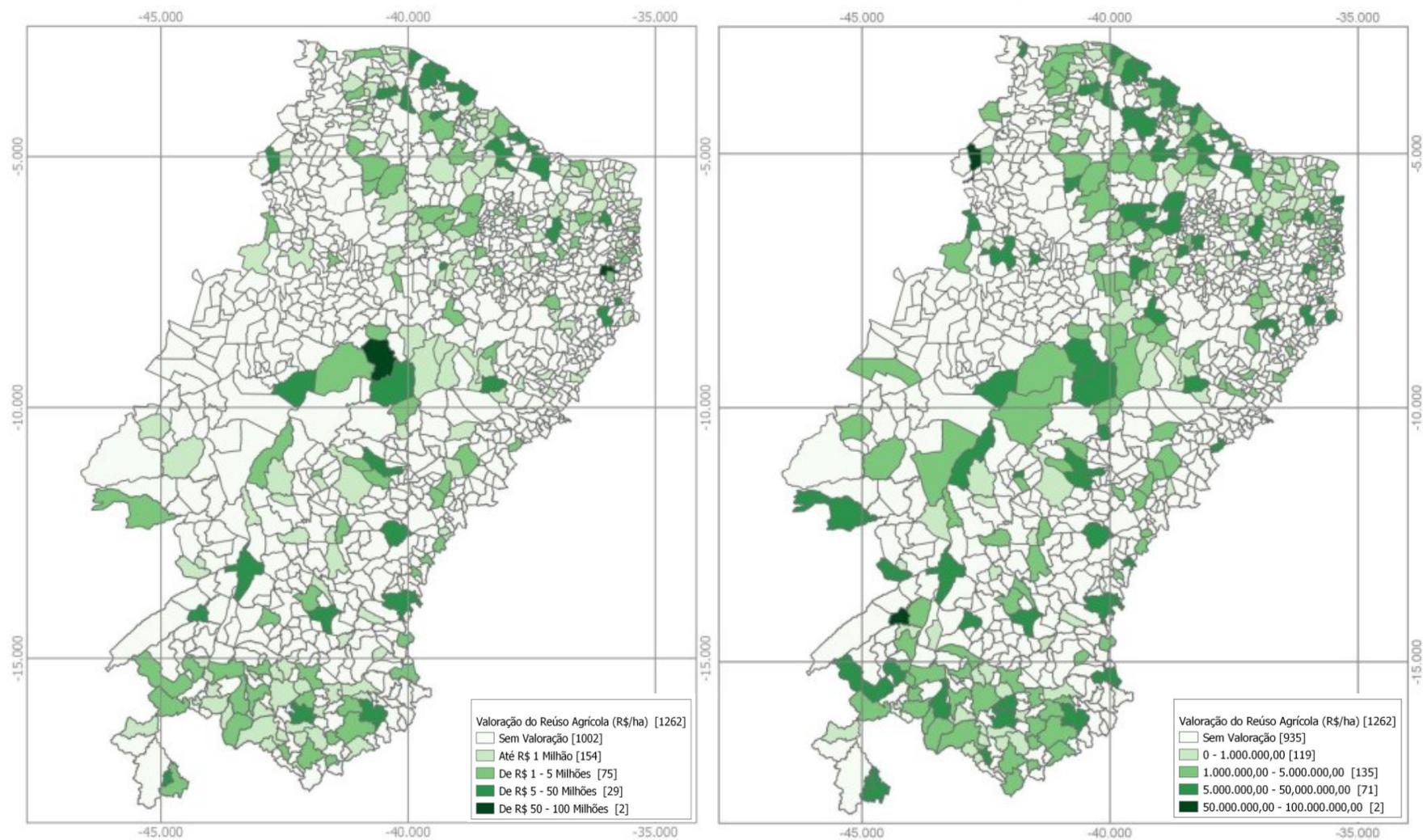
#### 5.11.4 Análise Gráfica

No mapa que segue (Figura 29), pode ser observada a distribuição espacial da valoração econômica do reuso agrícola no SAB decorrente dos NDAP's implementado nos municípios detentores de ETE's. Assim pode ser observado que no Cenário vigente, 59,23% dos recursos da valoração estão alocados em municípios inseridos na faixa de valoração de até 1 milhão de reais e 28,85% na faixa de 1 a 5 milhões. Apenas 2 (dois) municípios foram enquadrados na faixa de valoração superior a 50 milhões.

No Cenário otimizado, observa-se uma distribuição mais linearizada entre as faixas de valoração, se comparado ao cenário anteriormente analisado, no qual 36,39% dos recursos da valoração estão alocados em municípios inseridos na faixa de valoração de até 1 milhão de reais e 41,28% na faixa de 1 a 5 milhões, não havendo migração para faixa superior a 50 milhões, permanecendo apenas os 2 (dois) municípios anteriormente identificados no cenário vigente.

Percebe-se ainda, uma migração da valoração situada na faixa de R\$ 50 -100 milhões de reais, dos municípios de Petrolina/PE e Campina Grande/PB, no Cenário vigente, para os municípios de Feira da Mata/BA e Teresina/PI, no Cenário otimizado, o que denota baixos índices de coleta e tratamento, em relação à vazão de esgoto gerada nesses municípios.

**Figura 29 – Mapa de Valoração do Reúso Agrícola, em decorrência da sua implementação no SAB  
(Cenário vigente – esquerda / Cenário otimizado – direita)**



Fonte: próprio autor – 2020.

### 5.11.5 Análise Comparativa

Os dados apresentados (Figura 25) demonstram que a valoração do reuso agrícola variou em função da variável de produção (VPA) escolhida.

Quando a variável escolhida foi a cultura do milho, a valoração da renda local (VRL) apresenta a maior participação (43%), seguida da valoração do tratamento de água (VTA) com 40% da matriz de valoração.

Quando a variável escolhida foi a cultura do feijão, a valoração da produção agropecuária (VPA) apresenta a maior participação (37%), seguida da valoração da renda local (VRL) com 31% e da valoração do tratamento de água (VTA) com 29% da matriz de valoração.

Quando a variável escolhida foi a produção de carne, a valoração da renda local (VRL) apresenta a maior participação (50%), seguida da valoração do tratamento de água (VTA) com 45% da matriz de valoração.

Sobre o aspecto geral, denota-se que a valoração da renda local (VRL) e a valoração do tratamento de água (VTA) são as variáveis mais significativas, resultantes do cálculo da valoração do reuso agrícola, inclusive quando correlacionadas com a valoração da produção agropecuária (VPA).

Considerando-se cada uma das variáveis os resultados demonstraram uma variação constante de 0,61% no valor, para ambos os cenários de análise. Também foi possível observar a variação de 36,4% entre as variáveis de menor valor (carne) e a de maior valor (feijão).

## 5.12 FATORES CONDICIONANTES À PROPAGAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA

Este tópico da pesquisa, se destina à investigação sobre o ambiente institucional do esgotamento sanitário e suas correlações com a gestão de recursos hídricos, de forma a identificar os possíveis entraves a implementação do reuso na região semiárida.

### 5.12.1 Ambiente Institucional

Compreender o ambiente institucional do esgotamento sanitário, sob o ponto de vista prático significa analisar, simultaneamente, o ambiente institucional do abastecimento de água potável.

Esta análise significa enxergar que o povo brasileiro, sob o ponto de vista dos recursos hídricos, tem uma identidade culturalmente forjada na abundância infinita do recurso água, embora boa parte do país viva sob condições de déficit hídrico.

Praticar a gestão de recursos hídricos sobre tais condições, exige esforço hercúleo na tomada de decisão sobre o que é certo, necessário e funcional em prejuízo da conveniência de indivíduos ou grupos ou de causa alheias ao atingimento da segurança hídrica.

### 5.15.2 Aspectos Estruturais

Sobre o aspecto estrutural, cabe observar a ausência de marco regulatório como sendo o principal entrave à efetivação do reúso.

Pela própria dimensão continental do país e diversidade de status hídricos, a estrutura descentralizada de domínio das águas traz consigo uma diversidade de tratamentos jurídicos a um mesmo bem público, limitado e dotado de valor econômico, hidrológicamente contido em um ciclo quantitativamente estável. Ou seja, independentemente do estado físico, a água é a mesma e deve ser de domínio exclusivo da União.

Embora pareça bonito, essa “gestão descentralizada e participativa” tem se mostrado definitivamente incapaz de gerir a água enquanto bem público finito e dotado de valor econômico, face à sua importância estratégica para o desenvolvimento da sociedade brasileira. Esse modelo tem gerado um imbróglio jurídico decorrente, ora do excesso, ora da vacância de legislações editadas em todas as esferas administrativas, tornando impraticável a gestão em função dos conflitos de interesses.

Atualmente, tropeçam nos caminhos da burocracia inúmeros projetos de lei que visam regulamentar a matéria relativa ao reúso, de forma que apenas o Estado do Ceará possui legislação consolidada sobre a matéria, a saber: Lei Estadual nº 16.033 de 20 de junho de 2016, que dispõe sobre a política de reúso de água não

potável; Resolução COEMA nº 02/2017, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras e a Lei Estadual nº 16.603 de 09 de julho de 2018, que dispõe sobre o reúso da água proveniente de aparelhos de ar condicionado.

Segundo Moraes, *et al.* (2019), os Estados do Ceará e de São Paulo apresentam as mais modernas legislações sobre padrões de qualidade para reúso de águas residuárias.

Além de reforçar a ausência de marco regulatório nacional sobre o reúso, o referido autor enfatiza o risco envolvido na absolvição da responsabilidade das companhias públicas de tratamento de esgoto, praticada por vários estados, em função do grande volume de descarga praticada por essas instituições e do consequente impacto ambiental, ao tempo em que exigem o cumprimento normativo em relação aos padrões de nitrogênio amoniacal, das instituições e indústrias privadas.

Assim, cabe observar que o entrave à efetivação do reúso decorrente da ausência de marco regulatório, também se estende de forma ainda mais acentuada, ao reúso agrícola, o qual também está limitado pelo estigma de vilã que recais sobre a técnica de irrigação.

Ainda no aspecto estrutural, outro fator que atua como entrave à efetivação do reúso, consiste na inadequação do modelo de sistema de gestão adotado, calcado no princípio da descentralização participativa - baseado no modelo francês, que resguarda uma estrutura dilatada, burocrática e via de regra, tecnicamente desqualificada e desconectada da capacidade gerencial financeira de “fazer acontecer”.

Acima da necessária adequação estrutural do sistema de gestão de recursos hídricos, está a necessidade de reposicionamento político da gestão das águas no Brasil, de forma a respaldá-la enquanto política de Estado, estrategicamente direcionada para promover bem-estar da população e o desenvolvimento sócio econômico sustentável do país.

Por fim, é preciso ressaltar a sublimidade dos fundamentos da Lei 9433/97, ao definir a água como bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico, cuja gestão, geograficamente circunscrita pela bacia hidrográfica, deve priorizar o atendimento dos usos múltiplos. Isso posto, a relevância dos aspectos estruturais dos

recursos hídricos impacta diretamente sobre os entraves ao desenvolvimento do reúso, notadamente sobre o reúso agrícola.

### 5.12.3 Aspectos Sociais

Analisar socialmente os possíveis entraves ao desenvolvimento do reúso passa, obrigatoriamente pela necessidade de reposicionamento político da gestão das águas, conforme abordado anteriormente, vez que a condição de “política de Estado” deverá permitir a construção de uma nova percepção em relação ao elemento água.

Ainda mais importante, é que esta percepção traz consigo um sentimento de empoderamento cultural sobre a água, o qual deve ser consolidado através da universalização do acesso, deixando de ser objeto de segregação e passando a instrumento de integração, ou seja, se todos tiverem acesso e compartilharem dos benefícios, tendem também a despertar o sentimento de proteção sobre o bem.

Esse processo de empoderamento, certamente irá verter interesse conservacionista sobre outros aspectos relacionados a água, a exemplo da conservação das matas ciliares, da destinação adequada dos resíduos sólidos, da sustentabilidade ambiental sobre o processo de produção de alimentos e do uso e ocupação dos solos. Vai aguçar, certamente, a percepção da “riqueza” envolvida na decisão de se promover o reúso de águas servidas, principalmente o reúso agrícola e industrial.

Conforme o exposto, fica evidente que o maior entrave social ao desenvolvimento do reúso agrícola reside, exatamente, na baixa disponibilidade dos serviços de abastecimento e esgotamento e na inexistência de uma política de valorização cultural da água.

### 5.12.4 Aspectos Econômicos

O aspecto econômico da investigação sobre o ambiente institucional, visando identificar os entraves à efetivação do reúso, está pautado na recomposição dos instrumentos de valoração, controle e fiscalização.

Na concepção da Lei das águas, ao rotular a água como bem público “dotado de valor econômico”, o legislador, certamente objetivava ao estabelecimento de uma

nova concepção de valoração da água, calcada, não só no seu custo de lavra, tratamento e disposição final, mas sim, no reconhecimento de um valor imaterial e incomensurável, vez que atua como força motriz da manutenção da vida, participando invariavelmente de todos os processos produtivos, atualmente conhecidos.

Inicialmente, esta valoração passa pela necessidade de justa precificação da água destinada ao abastecimento público, via de regra, tão mal precificada que não consegue conferir sustentabilidade financeira às companhias, ou seja, prevalece uma estrutura tarifária relapsamente subdimensionada a qual não confere espaço ao estabelecimento de programas de incentivo, quer sejam destinados à redução do consumo, quer sejam destinados à substituição de fontes de uso. Por conseguinte, a ausência de justa precificação da água, atua como forte desestímulo ao reúso agrícola, vez que os agricultores não observam vantagem financeira na sua adoção.

Esse quadro é ainda agravado pela equivocada política de “subsídio” setorial, a exemplo da tarifação sobre o setor agrícola, cujas tarifas não exprimem incentivo à substituição do pacote tecnológico da irrigação com vistas à otimização da aplicação de água.

Para exemplificar, no Estado de Israel, onde a técnica do reúso é amplamente utilizada - aproximadamente 90% da vazão tratada é destinada ao reúso na agricultura, o tratamento tarifário dado à comercialização da água destinada a agricultura é definido pela origem da água (poços, usinas de dessalinização, reutilização), do uso ao qual se destina (agricultura, doméstica, industrial) e da localização geográfica do usuário.

De acordo com o Banco Mundial, “para uso na agricultura, a tarifa da água varia em função da fonte: i) água bruta - 0,22 a 0,70 US\$/m<sup>3</sup>; ii) água salobra - 0,24 a 0,43 US\$/m<sup>3</sup>; e iii) esgoto tratado - 0,22 a 0,34 US\$/m<sup>3</sup>, (aproximadamente R\$ 1,50/m<sup>3</sup>). Observa-se assim, intensão clara da gestão em incentivar o uso do efluente tratado, considerando-se o custo mais baixo em relação às demais fontes. De maneira oposta, em média, a água bruta apresenta custo mais elevado” (AZEVEDO,2007).

Em contrapartida, no caso do reúso industrial o tratamento tarifário adotado pela SABESP, com tarifa da água de reúso para fins industriais no valor de R\$ 2,60/m<sup>3</sup>, em comparação com a tarifa de água potável para indústrias na faixa de consumo de até 50 m<sup>3</sup>/mês, no valor de R\$ 19,50/m<sup>3</sup>, embora apresente-se atrativo, a adesão ainda é incipiente, carecendo de aprimoramento na oferta de incentivos ao segmento.

Pode-se observar neste caso, uma atratividade econômica para o setor industrial, que se apresenta como um fator de planejamento para a sustentabilidade de indústrias e conseqüentemente para o desenvolvimento e geração de empregos” (AZEVEDO, 2007).

A valoração da água passa, necessariamente por uma reformulação da matriz tarifária, dotando-a de viabilidade econômica superavitária, de forma que sua remunerada distribuição possa subsidiar, completamente, as ações estruturantes de recuperação, conservação e geração de água. Assim sendo, o ajuste tarifário será facilmente acolhido pela sociedade.

A descentralização do controle e fiscalização se unificam de forma complementar na investigação sobre os entraves à efetivação do reúso.

Ao controle, corresponde todo o aparato pluviométrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água, cuja abrangência deverá atingir todos os rios perenes do Brasil, de forma a permitir a justa aplicação dos instrumentos de gestão. Já no tocante à fiscalização sobre os corpos hídricos, novamente fica evidente que sua efetividade estará condicionada ao domínio centralizado de um único ente federativo, no caso, a União, de forma a unificar os procedimentos, eliminar as ingerências locais e conceder isonomia na garantia dos usos múltiplos.

Dentre os instrumentos citados, a outorga somente proporcionará subsídio à gestão dos recursos hídricos, caso venha acompanhado da hidrometrização obrigatória das tomadas d'água outorgadas, visando a justa cobrança e o efetivo pagamento pelo uso da água.

Outro fator dentro do aspecto econômico que dificulta a implementação do reúso é a incompatibilidade de comunicação, ocasionada pela utilização de critério, parâmetros e terminologias intangíveis à maioria da população brasileira. Na singela visão do cidadão comum, existem os rios perenes, sobre os quais faz sentido a aplicação do aparato de controle e do instrumento de outorga e existem os rios contaminados, ou não, sendo nesses últimos permitida a atividades de banho, pesca e recreação.

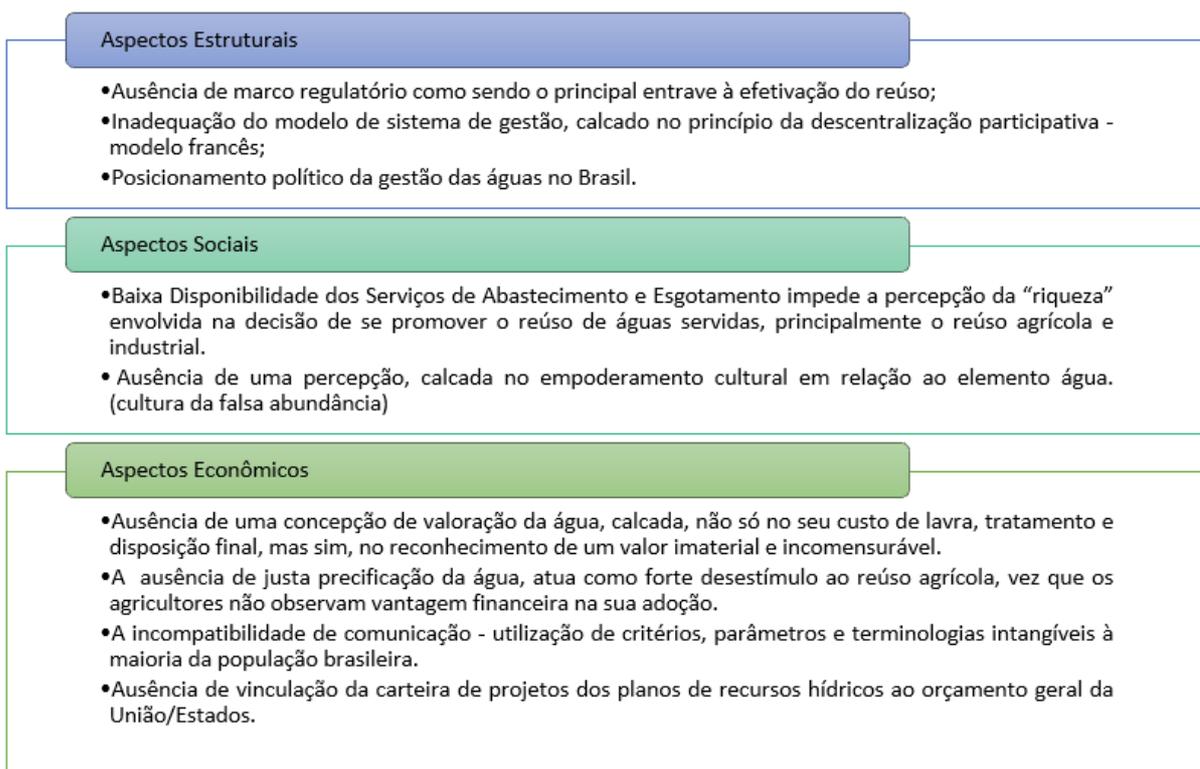
Essa simplificação tende a compartilhar a responsabilidade da população com a conservação da qualidade dos corpos hídricos e também deverá ser estendida aos planos de recursos hídricos, os quais deveriam sinteticamente demonstrar o balanço hídrico à população: quanto de água se tem, onde estão localizadas e qual sua

disponibilidade em relação às demandas, e sua classificação qualitativa, associada a uma carteira de projetos necessários para elevar ou manter sua classificação.

Sem tal simplificação, e sem vinculação da carteira de projetos dos planos de recursos hídricos ao orçamento geral da união, tais instrumentos continuarão a disfrutar da condição de “peso de porta”.

Sinteticamente, os principais fatores limitantes à implementação do reúso agrícola no Brasil estão elencados, por tipologia, conforme a Figura 30.

**Figura 30 – Principais Fatores Limitantes da Implementação do Reúso Agrícola no Semiárido brasileiro.**



**Fonte:** Próprio autor (2020).

## 6 CONCLUSÃO

O reúso agrícola - aqui percebido como sendo a utilização do esgoto doméstico tratado como fonte hídrica da irrigação, não constitui apenas uma alternativa ao desenvolvimento do Semiárido Brasileiro, mas sim, a única alternativa à diversificação da matriz hídrica de abastecimento da agricultura irrigada, efetivando-se como a mais eficiente ferramenta de gestão de recursos hídricos, dada sua capacidade de mitigar a ocorrência de crises hídricas.

A difusão desta técnica representará uma mudança de paradigma, capaz de lançar a agricultura brasileira ao mais alto patamar de competitividade produtiva e promover o desenvolvimento socioeconômico e ambiental da região do SAB.

Mais do que um estudo regionalizado, esta pesquisa traz, principalmente, aos técnicos envolvidos na área de recursos hídricos, uma possibilidade de refletir, para além da preocupação de armazenar e transportar águas, mas também de cuidar, com o devido rigor, da preservação e do uso racional dos recursos disponíveis.

Nesse contexto, a utilização da água de reúso como fonte de abastecimento da agricultura irrigada, proporcionará o aumento de produção em decorrência da inserção de novas áreas ao processo produtivo e da produtividade pela economia de recursos advinda da ciclagem de nutrientes, substituindo a utilização de águas de melhor qualidade e promovendo o controle da poluição de descargas sobre os corpos hídricos.

A investigação sobre o ambiente institucional evidencia a necessidade de empoderamento cultural da população em relação à água e da universalização dos serviços de abastecimento e esgotamento, além da simplificação de parâmetros, critérios e terminologias utilizadas na gestão de recursos hídricos, como entraves a serem culturalmente superados.

Ante o exposto, emerge a necessidade de aprofundamento desta pesquisa, quanto à escala de aplicação do modelo de agricultura periurbana, ora proposto, de forma que a ciência possa apontar o melhor caminho para trilhar esta alternativa de desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe anual. ANA, 2018.

AZEVEDO, Márcia R. Q. A. *et al.* Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 1, p. 63-68, 2007.

BASTOS, R. K. X. **Utilização agrícola de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES. 1999.

BERNARDI, Cristina Costa. **Reúso de água para irrigação**. Brasília: ISAEFGV/ECOBUSINESS SCHOOL, 2003.

BERTONCINI, Edna Ivani. **Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola**. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

BORGES, Ana Lúcia *et al.* **Fertirrigação da bananeira**. Embrapa Mandioca e Fruticultura-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2007.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Portal do Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH, 2005. <http://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file>

BRASIL. Instituto Nacional do Semiárido. **Acervo digital geográfico e populacional do Semiárido Nordeste**. Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro – INSA/SIGSAB, 2010. Disponível em: <http://sigsab.insa.gov.br/acervoDigital>

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre saneamento. **Diagnóstico Anual de águas e esgotos**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos/agua-e-esgotos>

BRASIL. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. **Delimitação do Semiárido**. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2003. **Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Colombia**. Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. 2003. Perú. Disponível em: <https://docplayer.es/18748107-Inventario-de-la-situacion-actual-de-las-aguas-residuales-domesticas-en-colombia.html> ;

CANTELLE, T. D.; LIMA, E. C.; BORGES, L. A.C. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 1259-1282, 2018.

CASTRO, César Nunes de. Sobre a agricultura irrigada no Semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política. **Texto para Discussão** (IPEA), v. 2369, p. 1-56, 2018.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.

CUNHA, Tony Jarbas Ferreira *et al.* Principais solos do Semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da.(Org.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, v. 2, p. 50-87.

DUARTE, J. de O.; MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C. Árvore do conhecimento: Milho. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Org.), 2007. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_73\\_168200\\_51120.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_73_168200_51120.html)

DE ARAÚJO, Bruna Maçalhães; SANTOS, Ana Silvia Pereira; DE SOUZA, Frank Pavan. **Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil**. Exatas & Engenharias, v. 7, n. 17, 2017.

DE ESTUDOS ECONÔMICOS, ETENE – Escritório Técnico do Nordeste. Informe Rural ETENE – **PRODUÇÃO DE GRÃOS: FEIJÃO, MILHO E SOJA**. Fortaleza: BNB, ano. 4, n. 81, maio de 2019.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Effect of water on crop yield**. Campina Grande - PB: UFPB, 1994.

EDDY, Metcalf. **Tratamiento y depuración de las aguas residuales**. España: Editorial Labor SA, 1977.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES (USEPA). **Guidelines for Water Reuse**. Washington: USEPA, 2012.

FERREIRA, Douglisnilson de Moraes *et al.* Reúso agrícola de águas no Brasil: limites analíticos do efluente para controle de impactos. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 1048-1059, 2019.

FRIZZONE, J. A. **Necessidade de água para irrigação**. ESALQ/USP, Departamento de Engenharia, 2017.

GAMA, Dráuzio Correia; JESUS, Janisson Batista de. **PRINCIPAIS SOLOS DA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL FAVORÁVEIS AO CULTIVO DO Eucalyptus L'Heritier**. BIOFIX Scientific Journal, v. 5, n. 2, p. 214-221, 2020.

GOMES, Eder P. et al. **Produtividade de capim Tifton 85 sob irrigação e doses de nitrogênio**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 317-323, 2015.

HOCHMAN, Gilberto. **A era do saneamento: As bases da política de saúde pública no Brasil**. 1998.

LARA, J. A.; A. HERNÁNDEZ. 2003. Reutilización de aguas residuales: aprovechamiento de los nutrientes en riego agrícola. SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE MÉTODOS NATURALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Instituto Cinara, Universidad del Valle. pp. 237-242.

LAVRADOR FILHO, José; NUCCI, Nelson Luiz Rodrigues (orientador). **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. 1987. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1987.

**Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997** – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Publicada no Diário Oficial da União (DOU) em:09/01/1997.

LIMA, E. P. C. **Água e Indústria: experiências e desafios**. Brasília, DF: Infinita Imagem, 119 p, 2018.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil: O estado das águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999.

LUCENA, Clara Yasmim De Souza et al. **O reuso de águas residuais como meio de convivência com a seca no semiárido do Nordeste Brasileiro**. Revista de Geociências do Nordeste, v. 4, p. 1-17, 2018.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hílton Felício dos. **Reúso de Água**. Barueri-São Paulo: Manole, 2003.

MARA, D.; S. CARNICROSS. **Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura**. Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra. 1990.

MAYER, Mateus Cunha *et al.* **Sistema de tratamento de esgoto e de reúso agrícola familiar**. Campina Grande – PB: INSA, 200?. Disponível em: <http://www.banheirosmudamvidas.com.br/assets/PDFs/Sist.%20Trat.%20Esgoto%20e%20Reúso%20Agricola%20Familiar.pdf>

MEDEIROS, Salomão de S; SOARES, Antônio A; FERREIRA, Paulo A; NEVES, Júlio C. L; MATOS, Antônio T. de; SOUZA, José A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica a agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 9(4), 603-612.

MEDEIROS, Salomão de Sousa et al. **Esgotamento Sanitário: Panorama para o semiárido brasileiro**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2014.

**Medida Provisória nº 919, de 30 de janeiro de 2020** – Dispõe sobre o valor do salário mínimo a vigorar a partir de 1º de fevereiro de 2020. Publicada no Diário Oficial da União (DOU) em:31/01/2020; Ed. 22; Seção 1; Pag. 1.

MORAIS, Naassom Wagner Sales; SANTOS, André Bezerra dos. **Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil**. Revista DAE. N.215, v.67, jan-mar 2019. Disponível em: [http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_215\\_n\\_1764.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_215_n_1764.pdf)

MOSCOSO, J. **Reúso de aguas residuales en Perú**. Taller regional para América sobre aspectos de salud, agricultura y medio ambiente, México. 1993.

MELO, M. C. Reúso. **Revista Águas do Brasil**, n. 26, p. 22-29, 2019.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES (NRC), **Water Reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater**; Washington D.C.; The National Academy Press; 2012

NBR, ABNT. 9648. **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

NBR, ABNT. 9649. **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Editora Blucher, 2003.

OLIVEIRA, M.N.; SILVA, M.P; CARNEIRO, V. A. Reúso da água: um novo paradigma de Sustentabilidade. **Élisée, Rev. Geo**. UEG – Porangatu, v.2, n.1, p.146- 157, 2013a.

PACHECO, Rodrigo Pinheiro. **Custos para implantação de sistemas de esgotamento sanitário**. 2011. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2011. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/29604/R%20-%20D%20-%20RODRIGO%20PINHEIRO%20PACHECO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PLACE, F. E. "Water clearning by copper". **Jornal of preventive medicine**, v. 13, 1985, p. 379.

POSTEL, Sandra. **Último oásis: enfrentando a escassez de água**. WW Norton & Company, 1997.

PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo. Reúso de água: uma tendência que se firma. *In*: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reúso de Água**. Barueri-São Paulo: Manole, 2003.

QUINTANA, N.R.G.; CARMO, M.S.; MELO, W.J. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Nucleus**, v.8, n.1, 2011.

SANTOS, Reginaldo Ferreira; MATSURA, Edson Eiji; SANTOS, Reieli Knöner. Implicações do reúso de efluente de esgoto doméstico tratado na irrigação agrícola. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 2, p. 70-86, 2015.

SAMPAIO, Y. **Investimentos públicos e privados em agricultura irrigada e seus impactos sobre o emprego e a renda nos polos de Petrolina/Juazeiro e norte de Minas Gerais**. Recife, PE: Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco (FADE), Relatório de pesquisa. mar. 1999.

SANTINI, Luigi Tavolaro; OLIVEIRA NETO, GERALDO CARDOSO; PUJOL TUCCI, HENRRICCO NIEVES. **Implantação de Reciclagem e Reuso como prática de Produção Mais Limpa**: Estudo de Caso em uma Indústria de Usinagem. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2015.

SILVA, Antônio Luiz de Oliveira Correia. **Nilo Coelho**. Projetos públicos de irrigação. CODEVASF. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/projetos-publicos-de-irrigacao/elenco-de-projetos/em-producao/senador-nilo-coelho>

SILVA, Jorge; TORRES, Patricia; MADERA, Carlos. Reúso de águas residuais domésticas em agricultura. **Una revisión. Agronomía Colombiana**, v. 26, n. 2, p. 347-359, 2008.

SILVA, Luana Tavares. **Cultivo de milho irrigado com esgoto doméstico tratado no Semiárido baiano: alternativa técnica e econômica para o pequeno agricultor no Semiárido Baiano**. 2015. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. 2015. Disponível em: <http://www.ppec.ufba.br/site/publicacoes/cultivo-de-milho-irrigado-com-esgoto-domestico-tratado-alternativa-tecnica-e-economica-p>

SIEGEL, S. M. **Faça-se a água: a solução de Israel para um mundo com sede de água**. São Paulo - SP: EDUC, 2017.

SILVA, Pedro Carlos Gama da *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, Iêdo Bezerra; SILVA, Pedro Carlos Gama da. (Org.). **Semiárido Brasileiro**: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. 1ªed.Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010, v. 1, p. 17-48.

SOUSA, Carmem Cristina Mareco de *et al.* Avaliação química-bromatológica e produtiva do capim Tifton 85 (*Cynodon SSP.*) irrigado com esgoto doméstico tratado. **Revista DAE**, São Paulo, n. 180, p. 1-7, ago. 2009.

SOUZA, D. P. *et al.* Produtividade do feijoeiro irrigado com água residuária e adubado com diferentes doses de fertilizantes. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2014, Brasília. Gestão de recursos hídricos na irrigação. Viçosa: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2014. v. XXIV. p. 1-4.

SOUSA, José Tavares de *et al.* Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 260-265, 2005.

SOUZA, J. T. *et al.* Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.107-110, 2001.

SOUZA, J. T. de; LEITE, **Tratamento e Utilização de Esgotos Domésticos na Agricultura**. Campina Grande: ed. EDUEP, 2003. 135p.

SOUZA, T. R. de; BÔAS, R. L. V.; QUAGGIO, J. A.; SALOMÃO, L. C.; FORATTO, L. C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.6, p.846-854, 2012.

SOUZA, Ana Cristina A. de; COSTA, Nilson do Rosário. **Política de saneamento básico no Brasil: discussão de uma trajetória**. História, Ciências, Saúde-Manguinhos, v. 23, n. 3, p. 615-634, 2016.

TAKEDA, Tatiana de Oliveira. **A evolução Histórica do Uso da Água**. Portal Jurisway, 2009. [https://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id\\_dh=1447](https://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=1447)

ESTIRAR EL AGUA MEDIANTE SU USO EFICIENTE Y REÚSO. **Revista técnica teorema ambiental** Nº 38. 2003.

VAN DER HOEK, Wim et al. **Urban Wastewater: A valuable Resource for agriculture: A case study from Haroonabad, Pakistan**. IWMI, 2002.

VERIATO, M. K. L. et al. Água: Escassez, crise e perspectivas para 2050. **Revista Verde**, v. 10, n. 5, p. 17-22, 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, v. 3, n. 2002, p. 196, 2002.

VON SPERLING, Marcos. **“Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos”**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WESTERHOFF, G. P., Un update of research needs for water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3, San Diego, California: Proceedings p. 1731-42, 1984.

**APÊNDICE A – Produto Técnico Tecnológico – PPT/CAPES.**

**MANUAL DE DESENVOLVIMENTO DE  
FÓRMULA PARA O CÁLCULO DA  
VALORAÇÃO ECONÔMICA DO REÚSO  
AGRÍCOLA APLICADO AO SEMIÁRIDO  
BRASILEIRO**



**& MAPA DE TESTAGEM DA APLICAÇÃO  
DA FÓRMULA DE VALORAÇÃO**

## 1- Justificativa

O Desenvolvimento da Fórmula de Cálculo da Valoração Econômica do Reúso Agrícola Aplicado ao Semiárido Brasileiro, se deu em decorrência da necessidade gerada, no âmbito da dissertação de mestrado intitulada: ANÁLISE REGIONALIZADA DA IMPLEMENTAÇÃO DO REÚSO AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, em se determinar o valor monetário por unidade de área, gerada pela implementação do reúso agrícola.

Em pesquisa bibliográfica, não foi encontrada nenhuma fórmula de valoração econômica, aplicável ao caso específico em análise, o que motivou tal desenvolvimento.

## 2- Desenvolvimento

O desenvolvimento da fórmula se deu por meio da identificação e quantificação dos fatores – segmentos econômicos que permeia a atividade agrícola, notadamente quando se trata da aplicação da técnica de irrigação, cuja fonte de água advenha do tratamento do esgoto doméstico.

Assim, forma identificados e individualmente valorados, os seguintes segmentos:

- ✓ Valoração da Produção Agropecuária, identificado pela sigla (VPA), que trata do volume financeiro gerado em função da produção agropecuária desenvolvida na área irrigada, cujo valor irá variar em função do ativo explorado.
- ✓ Valoração Nutricional da Água Residuária, identificado pela sigla (VNS), que trata do volume financeiro gerado em função da disponibilização de macronutrientes à produção agropecuária, pela aplicação da água residuária;
- ✓ Valoração da Renda Local, identificado pela sigla (VRL), que trata do volume financeiro gerado em função da criação de postos de empregos, diretos e indiretos;
- ✓ Valoração do Tratamento de Água, identificado pela sigla (VTA), que trata do volume financeiro gerado em função da “economia” de recursos, em função da não descarga de efluente contaminado, sobre os cursos d’água, implicando na eliminação dos custos de tratamento à jusante do lançamento;
- ✓ Valoração do Sistema Público de Saúde, identificado pela sigla (VSP), que trata do volume financeiro gerado em função da “economia” de recursos, em função da não ocorrência de doenças causada em função do saneamento ambiental inadequado, implicando na eliminação dos custos de internações hospitalares.

A valoração decorrente da implementação do reúso agrícola nos municípios do Semiárido brasileiro, detentores de estações de tratamento de esgoto pode ser valorada, conforme a fórmula proposta:

$$VRA/SAB = \frac{VPA+VNS+VRL+VTA+VSP}{AI}$$

- a) Onde:
- b) VRA/SAB – Valoração do Reúso Agrícola no Semiárido Brasileiro;
- c) VPA – Valoração da Produção Agropecuária;
- d) VNS – Valoração Nutricional da Água Residuária;
- e) VRL – Valoração da Renda Local;
- f) VTA – Valoração do Tratamento de Água;
- g) VSP – Valoração do Sistema Público de Saúde;
- h) AI – Área Irrigável

### 3- Considerações

O referido trabalho está pautado na análise comparativa dos benefícios econômicos, monetariamente traduzidos, gerados pela efetiva implementação do reúso agrícola como fonte de água para irrigação.

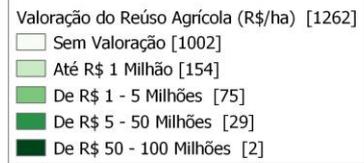
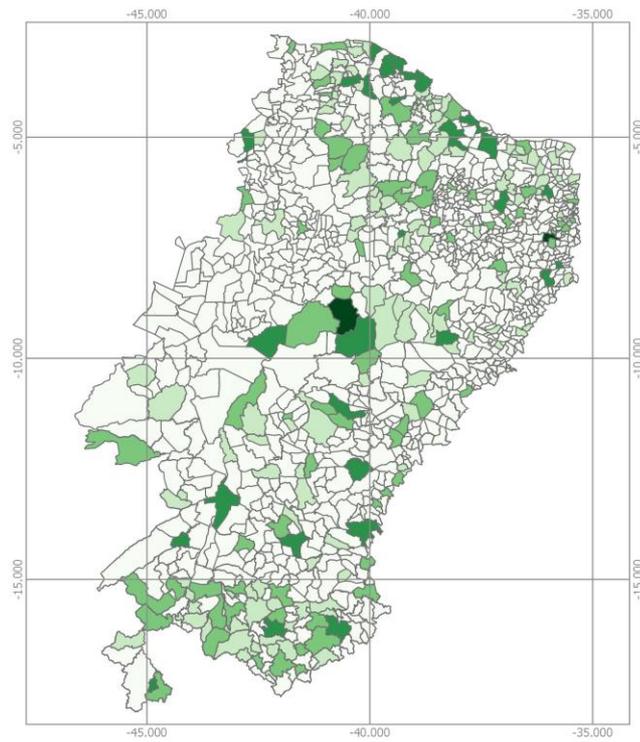
Para algumas destas variáveis, o benefício advém da condição do “deixar de gastar”, a exemplo da redução vertiginosa de gastos com o tratamento da descarga efluente sobre os corpos hídricos; com o tratamento de doenças decorrentes do saneamento ambiental inadequado; com o aproveitamento da carga nutricional existente no efluente tratado. Para outras variáveis, a exemplo da agregação da produção agropecuária e da agregação da renda local, os benefícios “gerados” são intrínsecos da atividade de agricultura irrigada, podendo ser monetariamente traduzidos em benefícios.

Assim podemos dizer, do ponto de vista da valoração econômica e ambiental, que o reúso agrícola dispõe de um extraordinário potencial de impacto positivo, tanto econômico quanto ambiental.

### 4- Aplicação

A aplicação desta fórmula expressa um resultado calcado na relação de valor (R\$) por unidade de área (ha) e espacialmente representado nos mapas que seguem.

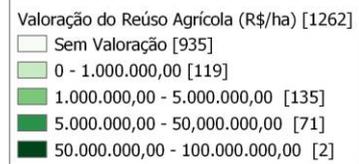
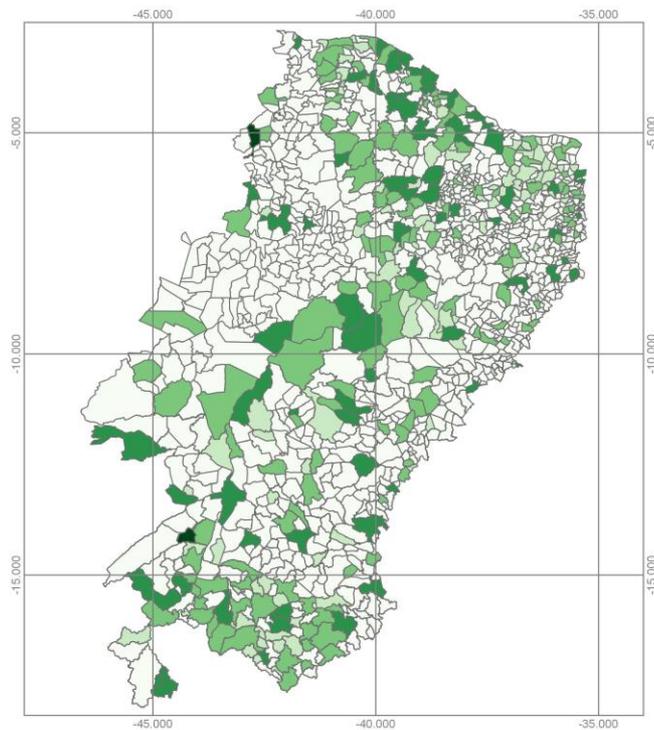
### Mapa de Valoração do Reúso Agrícola, em Decorrência da Sua Implementação no Semiárido Brasileiro (Cenário Vigente).



0 100 200 km



### Mapa de Valoração do Reúso Agrícola, em Decorrência da Sua Implementação no Semiárido Brasileiro (Cenário Otimizado).



0 100 200 km



## 5- Conclusão

Os mapas de testagem de aplicação da fórmula de valoração, demonstram sua aplicabilidade no caso em tela. A geoespacialização dos dados resultantes da sua aplicação, demonstram, claramente a dinâmica entre os dois cenários de valoração, metodologicamente adotados, tanto pela flutuação das faixas de valoração quando pelo deslocamento dos polos de valoração (municípios).