



**PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI - UFCA  
CENTRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO SEMIÁRIDO**

**ANIELLE DOS SANTOS BRITO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FOSSA VERDE EM  
COMUNIDADE RURAL: TECNOLOGIA SOCIAL PARA CONVIVÊNCIA NO  
SEMIÁRIDO, CRATO-CE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional —Sustentável, da Universidade Federal do Cariri - UFCA, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima**

**21-12-2015  
Juazeiro do Norte- CE**



PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - CAMPUS DO CARIRI  
CENTRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO SEMIÁRIDO

**ANIELLE DOS SANTOS BRITO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FOSSA VERDE EM  
COMUNIDADE RURAL: TECNOLOGIA SOCIAL PARA CONVIVÊNCIA NO  
SEMIÁRIDO, CRATO-CE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável, outorgado pela Universidade Federal do Cariri.

**Área de Concentração:** Desenvolvimento Regional Sustentável

**Linha de Pesquisa:** Ambiente e Desenvolvimento Regional Sustentável

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Gorethe de Sousa Lima. (Orientadora)  
Universidade Federal do Cariri

---

Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça (Membro)  
Universidade Federal do Cariri

---

Prof. Dr. Eduardo Vivian Cunha (Membro)  
Universidade Federal do Cariri

---

Prof. Dr. Silvério de Paiva Freitas Júnior (Membro)  
Universidade Federal do Cariri

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Daniele Costa da Silva (Membro externo)  
Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH

BRITO, Anielle dos Santos. **Estudo da viabilidade de implantação de Fossa Verde em comunidade rural: Tecnologia social para a convivência no Semiárido, Crato-CE.** 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – Universidade Federal do Cariri (UFCA), PRODER, Juazeiro do Norte, 2015.

**Perfil do autor:** Especialista em Educação Ambiental pela Universidade Regional do Cariri – URCA (2008). Tecnóloga em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental pelo Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTEC (2006). Técnica do Laboratório de Análises Físico-Químicas de Águas e Efluentes do Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental da Faculdade de Tecnologia FATEC Cariri.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Cariri  
Sistema de Bibliotecas

---

B862e Brito, Anielle dos Santos.  
Estudo da viabilidade de implantação de fossa verde em comunidade rural: tecnologia social para convivência no semiárido, Crato-CE / Anielle dos Santos Brito. – 2015.  
99 f.: il. color., enc. ; 30 cm.  
  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável, Juazeiro do Norte, 2015.  
Orientação: Profa. Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima.  
  
1. Saneamento rural. 2. Tecnologia social. 3. Fossa verde. I. Título.

CDD 628.7

---

Aos meus pais, Francisco e Ana Lúcia, que dignamente me apresentaram o caminho da humildade e persistência.

Aos meus filhos, Ana Lis e Breno, que pela existência de tanto amor consegui forças em todos os momentos.

Ao meu marido, Kleber pelo imenso companheirismo, paciência, amor e por estar sempre me apoiando nessa caminhada.

Aos meus irmãos Suziani e Franklin, pela amizade e incentivo.

## AGRADECIMENTOS

- À Deus em primeiro momento, pelo amparo nos momentos difíceis, pela força para superar as dificuldades, mostrando o caminho nas horas incertas e suprimindo todas as minhas necessidades.
- À minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima, por acreditar em mim, pela dedicação na orientação da pesquisa, paciência, carinho, amizade, humildade e por ter recebido este trabalho com tanto profissionalismo, mostrando-me o caminho da ciência.
- A Dona Lenir e seus familiares, por permitir a realização do estudo sobre as fossas verdes em sua propriedade, bem como por sua receptividade, colaboração e apoio em todas as etapas desta pesquisa.
- Aos meus familiares pela força e incentivo a cada dia.
- Aos meus cunhados Clécio Hércules e Ana Cibele, bem como minha sogra Dona Marizinha, pela ajuda com meus filhos nos momentos em que precisei dar continuidade a pesquisa de campo na Minguiriba nos finais de semana, bem como no período de finalização da Dissertação.
- As minhas tias Marizete e Ana pelo apoio constante nessa jornada, em todos os momentos.
- À Simone Batista de Carvalho pela ajuda na escolha da área para realização da pesquisa.
- Ao professor Luiz Alberto Mendonça pela contribuição com esta pesquisa e por disponibilizar equipamentos do laboratório de Recursos Hídricos para execução da etapa experimental, ainda estendo meus agradecimentos ao Laboratorista Joseilson.
- A Universidade Federal do Cariri (UFCA) pela disponibilidade dos Laboratórios de Saneamento Ambiental e Mecânica dos Solos para execução de análises. Meus sinceros agradecimentos as Laboratoristas Lucimara e Diana pelas orientações, auxílio e paciência no acompanhamento dos procedimentos analíticos.
- Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFCE e professora Yanice pela disponibilidade do Laboratório LEAS para realização de análises laboratoriais e toda atenção prestada na execução das mesmas.
- Ao professor Silvério pela ajuda na fase experimental da pesquisa, quanto as orientações sobre o plantio dos cultivares, fornecimento de sementes crioulas de milho e feijão.

- A Secifran pelas orientações técnicas quanto a seleção das melhores sementes a serem plantadas, as dicas sobre o curtimento do esterco bovino e melhor período de aplica-lo ao solo nas fossas verdes, e a Djair pelo auxílio no plantio.
- Ao meu primo Abelardo Arraes tanto pelas orientações técnicas relacionadas aos aspectos agronômicos quanto ao auxílio no plantio dos cultivares nas fossas verdes. O conhecimento técnico do meu tio Vicente quanto à agronomia também foi primordial para obtenção de êxito no plantio.
- A amiga Camila Esmeraldo Bezerra pela grande ajuda na avaliação fenológica das plantas, por tanto empenho e disposição nas medições principalmente nos finais de semana.
- A Faculdade de Tecnologia FATEC Cariri, pela disposição dos Laboratórios para a realização das análises Físico-químicas e bacteriológicas do presente estudo, em especial aos Laboratoristas: Flávia, Mirelle, Vagner, Jocy, Manu e Rafael, pelo apoio e disponibilidade no recebimento das amostras.
- Aos alunos da FATEC e IFCE que auxiliaram nas realizações das análises e que sem a colaboração eu não conseguiria concluir os resultados: Shel, Natália, Letícia, Joelma, Pamela e Claudiene.
- A Alana Sousa, por auxiliar na aplicação de questionário socioeconômico na comunidade Minguiriba, como também sua participação e apoio na etapa de Educação Ambiental da pesquisa.
- A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa durante o mestrado.
- A empresa KBsistemas pelo apoio financeiro na construção das quatro fossas verdes, tornando-se possível a realização do experimento.

## **EPÍGRAFE**

**“Reze. Há um poder imensurável nisso.”**

**Dalai Lama**

## RESUMO

O Estado do Ceará é caracterizado pelo forte déficit hídrico, impossibilitando a prática da agricultura, inclusive de subsistência. Para agravar esta situação, comunidades rurais não dispõem de qualquer infraestrutura para coleta e tratamento de esgotos, sendo estes lançados *in natura* no solo, contribuindo para a insalubridade ambiental. Este projeto de pesquisa tem o objetivo de avaliar a viabilidade da implantação da tecnologia “Fossa Verde” como alternativa de reutilização de esgoto doméstico no cultivo de milho e feijão na comunidade rural Minguiriba, localizada em Crato-CE. Para alcançar tal objetivo foram desenvolvidas as seguintes atividades: determinação do perfil socioeconômico da população da área de estudo, quantificação das vazões de águas cinzas da comunidade em estudo; determinação das características físicas, químicas e bacteriológicas das águas cinzas e da cisterna; caracterização do solo, antes e durante o funcionamento das fossas, sob os aspectos físicos e químicos, e dimensionamento e implantação das fossas verdes. A partir da análise dos resultados obtidos verificou-se que o índice de sustentabilidade (IS) da comunidade Minguiriba é ruim. Ao se utilizar o teste de Kruskal Wallis aos dados da caracterização físico-química das águas cinzas, das águas da cisterna e da fertilidade do solo foram verificadas diferenças significativas, para p-valor <0,05, entre as medianas das concentrações de sódio e de potássio. Com relação aos resultados fenológicos do milho e do feijão, foram constatadas diferenças significativas, também para p-valor <0,05, entre as medianas dos comprimentos das vagens de feijão, pesos dos grãos de milho, pesos dos grãos de feijão, comprimentos das espigas de milho, diâmetros das espigas de milho, números de folhas de milho, números de folhas de feijão, alturas do milho e alturas do feijão, obtidas nas fossas verdes teste e na fossa verde controle. Também verificou-se que as fossas verdes teste apresentaram melhor desempenho quando comparadas com a fossa verde controle. Ante o exposto, pode-se concluir que a tecnologia social Fossa Verde pode contribuir com a sustentabilidade socioeconômica e ambiental de comunidades rurais em regiões semiáridas, uma vez que sua utilização contribui para o controle da poluição ambiental, reduz o consumo de água potável na agricultura, melhora as condições de produção do solo e propicia a agricultura de subsistência.

**Palavras-chave:** Saneamento Rural, Tecnologia Social, Fossa Verde, Sustentabilidade socioeconômica e ambiental.

## ABSTRACT

The State of Ceará is characterized by strong water deficit, preventing the practice of agriculture, including subsistence. Compounding this, rural communities have no infrastructure for collection and treatment of sewage, which are released in nature in the soil, contributing to environmental unhealthiness. This research project aims to assess the feasibility of deployment of the technology "Fossa Green" as domestic wastewater reuse alternative in growing corn and beans in the rural community Minguiriba, located in Crato-CE. To achieve this goal the following activities were carried out: determining the socioeconomic profile of the population of the study area, quantification of community greywater flows under study; determining the physical, chemical and bacteriological of greywater and tanks; characterization of soil before and during operation of the pits under the physical and chemical aspects, and design and implementation of green tanks. From the analysis of the results it was found that the sustainability index (IS) of Minguiriba community is bad. By using the Kruskal Wallis test data of physicochemical characterization of greywater, water cistern and soil fertility significant differences were found for p-value  $<0.05$ , between the medians of sodium and potassium. Regarding the phenology of maize and beans results, significant differences were found also for p-value  $<0.05$ , between the medians of bean pods of lengths, weights of corn, beans weights of grain, lengths corn cobs, corn cobs of diameters, corn number of leaves, number of leaves bean, corn and beans heights heights, obtained in test pits green and green tank control. Also it was found that green test pits performed better when compared with green tank control. Based on the foregoing, it can be concluded that social technology Fossa Green can contribute to the socioeconomic and environmental sustainability of rural communities in semi-arid regions, since its use contributes to the control of environmental pollution, reduces the consumption of drinking water in agriculture improves soil conditions of production and provides subsistence farming.

**Keywords:** Rural Sanitation, Social Technology, Trench Green, socioeconomic and environmental sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Localização geográfica da comunidade rural Minguiriba, Crato, Ceará, Brasil. Fonte: Souza, 2012.....	<b>37</b>
<b>Figura 2</b> Cisternas que abastecem a área de estudo da comunidade Minguiriba, Crato-CE: (a) Cisterna nº 210.833 e (b) Cisterna nº 210.830.....	<b>40</b>
<b>Figura 3</b> Coleta de subamostra de solo na área de implantação das fossas para análise de fertilidade.....	<b>44</b>
<b>Figura 4</b> Desenho esquemático do sistema experimental constituído pelo banheiro coletivo, três fossas verdes teste e uma fossa verde controle .....	<b>46</b>
<b>Figura 5</b> Desenho esquemático da estrutura Fossa Verde .....	<b>47</b>
<b>Figura 6</b> Etapas de construção das Fossas Verdes: (a) e (b) Escavação de valas; (c) Impermeabilização do piso; (d) Fossa totalmente impermeabilizada; (e) Construção da pirâmide de tijolos; (f) Pirâmide totalmente construída; (g) Camadas de entulho (restos de tijolos); (h) Camada de cascas de coco secas e de babaçu; (i) Camada de solo; (j) Caixa receptora de águas cinzas; (k) Caixa receptora de água da cisterna.....	<b>49</b>
<b>Figura 7</b> Produção de mudas dos cultivares de milho e feijão: (a) Semeadura do milho; (b) Semeadura de feijão; (c) Sacolas de sementeiras de milho e feijão; (d) Após 15 dias de sementeira do milho .....	<b>50</b>
<b>Figura 8</b> Croqui do plantio em consórcio dos cultivares de milho e feijão.....	<b>52</b>
<b>Figura 9</b> Plantio de cultivares nos módulos Fossas Verdes: (a) Plantio de milho; (b) Espaçamento entre linhas para plantio dos cultivares; (c) Linhas de cultivares de milho (21 plantas) por módulo; (d) Consórcio dos cultivares; (e) Processo de adubação ao final do plantio; (f) Irrigação dos cultivares ao final do plantio .....	<b>53</b>
<b>Figura 10</b> Graus de Sustentabilidade.....	<b>57</b>
<b>Figura 11</b> Escopos e indicadores utilizados para o cálculo do Índice de Sustentabilidade da comunidade rural Minguiriba, Crato, CE .....	<b>58</b>
<b>Figura 12</b> (a) Comparativo das alturas do milho desenvolvidos nas fossas verdes teste e controle; (b) Diâmetro do caule do milho; (c) Consórcio dos cultivares de milho e feijão nas fossas; (d) Embonecamento das espigas de milho; (e) desenvolvimento do feijão; (f) Vagem de feijão.....	<b>92</b>
<b>Figura 13</b> Palestra para os moradores sobre a Tecnologia Social Fossa Verde, da Comunidade Minguiriba, Crato – CE.....	<b>93</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Distritos e localidades pertencentes ao município de Crato, CE.....	<b>35</b>
<b>Tabela 2</b> Localização das residências contempladas pela Fossa Verde, número de habitantes e número das cisternas que abastecem essas residências, comunidade Minguiriba, Crato-CE.....	<b>39</b>
<b>Tabela 3</b> Total de usuários do banheiro coletivo, frequências diárias dos banhos, consumo per capita de água por banho e volume diário de água cinza produzido pela população da área de estudo, na Comunidade Minguiriba, Crato – CE.....	<b>41</b>
<b>Tabela 4</b> Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos determinados nas águas cinzas e na água da cisterna C2, utilizadas para irrigação das fossas verdes instaladas na comunidade Minguiriba, Crato, CE.....	<b>43</b>
<b>Tabela 5</b> Consumo per capita x porte da comunidade.....	<b>62</b>
<b>Tabela 6</b> Estatística descritiva dos resultados das variáveis analisadas obtidos na água cinza da comunidade Minguiriba, Crato-CE.....	<b>65</b>
<b>Tabela 7</b> Estatística descritiva dos resultados das variáveis analisadas obtidos na água da cisterna da comunidade Minguiriba, Crato-CE.....	<b>66</b>
<b>Tabela 8</b> Estatística descritiva dos resultados bacteriológicos obtidos na água da cisterna e água cinza, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.....	<b>73</b>
<b>Tabela 9</b> Estatística descritiva dos resultados das variáveis de fertilidade de amostras de solo, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.....	<b>74</b>
<b>Tabela 10</b> Estatística descritiva dos resultados das variáveis de macronutrientes e micronutrientes em amostras de solo, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.....	<b>76</b>
<b>Tabela 11</b> Teste de Kruskal Wallis para análise de solo das fossas verdes testes e controle.....	<b>76</b>
<b>Tabela 12</b> Estatística descritiva dos resultados das análises fenológicas do milho obtidos na nas unidades fossas verdes, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.....	<b>77</b>
<b>Tabela 13</b> Consumo per capita x porte da comunidade.....	<b>88</b>
<b>Tabela 14</b> Estatística descritiva dos resultados das análises de produção do milho obtidos na nas unidades fossas verdes, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.....	<b>88</b>

**Tabela 15** Resultados do teste de Kruskall Wallis aplicado aos dados da análise fenológica do milho..... **89**

**Tabela 16** Estatística descritiva dos resultados das análises fenológicas do feijão obtidos nas unidades fossas verdes, Comunidade Minguiriba, Crato-CE..... **90**

**Tabela 17** Estatística descritiva dos resultados das análises de produtividade do feijão obtidos na nas unidades fossas verdes, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.... **90**

**Tabela 18** Resultados do teste de Kruskall Wallis aplicado aos dados das análises fenológicas do feijão..... **91**

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACB	Associação Cristã de Base
ASA	Articulação do Semiárido Brasileiro
Ca	Cálcio
CF	Coliformes Fecais
CMMAD	Comissão Mundial sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente
DRS	Desenvolvimento Rural Sustentável
ECOSAN	Saneamento Ecológico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCONASA	Encontro Nacional de Articulação do Semiárido Brasileiro
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETERZ	Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
HIDROSED	Grupo de Pesquisa Hidrossedimentalógica do Semiárido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LAAE	Laboratório de Análises Físico-Químicas de Águas e Efluentes
LAMAE	Laboratório de Análises Microbiológicas de Águas e Efluentes
LEAS	Laboratório de Estudos Ambientais
Mg	Magnésio
Na	Sódio
NMP	Número Mais Provável
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PIMC	Programa Um Milhão de Cisternas Rurais
PAPP	Programa de Apoio ao Pequeno Produtor
PCPR	Programa de Combate à Pobreza Rural
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

$q$	Consumo Per Capita
$r$	Coefficiente de Retorno
C1	Residência 1
C2	Residências 2, 3, 4, 5 e 6
RAS	Razão de Adsroção de Sódio
SAB	Semiárido Brasileiro
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TS	Tecnologia Social
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UF	Unidade de Federação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCA	Universidade Federal do Cariri

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
3.1	Objetivo Geral.....	20
3.2	Objetivos Específico .....	20
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>21</b>
4.1	Desenvolvimento Rural Sustentável.....	21
4.2	Tecnologia Social e a Convivência com o Semiárido.....	24
4.3	Saneamento Ecológico .....	25
4.4	Agricultura Sustentável.....	28
4.5	Reuso de Efluentes na Agricultura.....	29
4.6	Fossa Verde.....	31
4.7	Milho.....	33
4.8	Feijão Caupí .....	34
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>35</b>
5.1	Localização da pesquisa.....	35
5.2	Material e Método.....	38
5.3	Quantificação das vazões de esgotos das residências da área de estudo.....	40
5.4	Caracterização físico-química e bacteriológica das águas cinzas e da água da cisterna C2.....	42
5.5	Caracterização do solo .....	43
5.6	Dimensionamento e implantação da Fossa Verde .....	44
5.6.1	Cálculo da lâmina d'água de cada fossa verde .....	44
5.6.2	Cálculo da vazão de água em cada fossa verde .....	44
5.6.3	Dimensionamento das caixas receptoras.....	45
5.7	Produção das mudas de milho e feijão.....	49
5.7.1	Plantio .....	51
5.8	Caracterização fenológica das plantas .....	53
5.8.1	Altura da plantas .....	53
5.8.2	Diâmetro caulinar.....	54
5.8.3	Número de folhas .....	54
5.9	Produção do milho e feijão por unidades Fossas Verdes.....	54
5.10	Capacitação da comunidade através da Educação Ambiental .....	54
5.11	Cálculo do Índice de Sustentabilidade .....	55
5.12	Tratamento Estatístico.....	59
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
6.1	Consumo per capita de água .....	60
6.2	Índice de Sustentabilidade (IS) da comunidade Minguiriba.....	63
6.3	Caracterização Físico-química da água cinza e água da cisterna, Comunidade Minguiriba .....	64

6.4	Análises bacteriológicas da água cinza e água da cisterna .....	73
6.5	Caracterização das amostras de solo das fossas verdes .....	75
6.6	Caraterização fenológica e de produção do milho e do feijão. ....	88
6.7	Capacitação da comunidade através da Educação Ambiental. ....	93
	<b>CONCLUSÃO. ....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A falta de tratamento dos esgotos é considerada um dos maiores problemas sanitários da população brasileira. No Brasil, 47,2% da população não possui rede coletora de esgoto, nem ao menos fossa séptica. Isso significa que quase 100 milhões de habitantes não dispõem do serviço de esgotamento sanitário (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

O problema é ainda mais grave nas comunidades rurais e de baixa renda. De acordo com a Fundação Nacional de Saúde (Funasa), 74% dos domicílios rurais depositam os dejetos em “fossas rudimentares” (PNAD, 2009). Este cenário contribui direta e indiretamente para o surgimento de doenças de veiculação hídrica, parasitoses intestinais e diarreias.

É importante frisar que o meio rural é constituído por diferentes comunidades, com especificidades de cada região brasileira, exigindo formas particulares de intervenção em saneamento básico, tanto no que diz respeito às questões ambientais, tecnológicas e educativas, como de gestão e sustentabilidade das ações. Para Chacon (2007), no Sertão, grande parte das pessoas e o próprio ambiente natural são excluídos pelo sistema socioeconômico vigente e pela sua própria história em virtude da carência em investimentos e da intervenção de políticas públicas inadequadas à realidade local.

O Estado do Ceará possui 92% do seu território inserido no semiárido, caracterizado pelo forte déficit hídrico, com médias pluviométricas anuais em torno de 900 mm/ano (ARAÚJO *et al*, 2006). A construção de reservatórios passou a ser a solução quanto ao armazenamento de água e possibilidades de atividades de subsistência associadas as suas margens e áreas de inundação.

Esse déficit hídrico dificulta a prática da agricultura, inclusive de subsistência. Em consequência, muitos moradores são impelidos a migrarem para áreas urbanas em busca de emprego. Os que ficam são obrigados a complementarem o abastecimento das cisternas com água proveniente de carros-pipa, a qual, na maioria das vezes, não é adequada para o abastecimento humano (AMORIN e PORTO, 2001).

Carvalho (2013), ao avaliar qualitativamente e quantitativamente as cisternas e barreiros utilizados como fontes alternativas de abastecimento de água em comunidades rurais do topo Chapada do Araripe, também na vertente cearense, identificou que a água de barreiro também é partilhada com animais, agravando a situação em virtude da

péssima qualidade da água, que contribui para uma maior incidência de doenças no meio rural.

Ainda segundo Carvalho (2013), o volume de água armazenado pelas cisternas durante o período chuvoso não é suficiente para suprir, em períodos de estiagem, as necessidades diárias das famílias. Sendo este fato atribuído, dentre outros fatores, ao número de pessoas por família (em torno de nove pessoas) ser superior ao considerado pelo PIMC, que é de cinco pessoas.

Para agravar esta situação, essas comunidades não dispõem de qualquer infraestrutura para coleta e tratamento de esgotos, sendo estes lançados *in natura* no solo, contribuindo para a insalubridade ambiental. No estado do Ceará, a cobertura de rede de esgotamento sanitário nas áreas rurais é de 0,4% (IBGE, 2010). Para Pinheiro (2011) a dificuldade no investimento de redes coletivas de esgotamento sanitário nas comunidades rurais é devido à distância entre as casas e aos custos de implantação e operação desses serviços.

Uma alternativa viável para o saneamento rural no semiárido nordestino é a utilização da “Fossa Verde”, uma vez que esta se constitui em um destino ambientalmente correto para os esgotos domésticos e ainda reutiliza-os no cultivo de alimentos, aumentando a produção de culturas irrigadas ao longo do ano, com retorno econômico, pois os esgotos tratados fornecem nutrientes que as plantas necessitam, além de ser de baixo custo de instalação.

Em pesquisa realizada em Madalena-CE, por meio da parceria entre o INCRA, UFC e UECE, no âmbito do projeto “Biorremediação Vegetal do Esgoto Domiciliar: Água Limpa, Saúde e Terra Fértil”, verificou-se o êxito das Fossas Verdes quanto ao tratamento e reuso agrícola das águas cinzas e negras de regiões semiáridas.

## **2 JUSTIFICATIVA**

No Ceará, mais especificamente na região do Cariri, em comunidades rurais situadas no setor Oriental da Chapada do Araripe, o problema da disposição inadequada dos esgotos domésticos é bastante crítica, pois estas localidades não dispõem de qualquer infraestrutura para tratamento, sendo estes resíduos lançados *in natura* no solo, contribuindo para insalubridade ambiental.

Para agravar ainda mais esta situação, essas comunidades sofrem com a escassez de água. As únicas fontes de abastecimento de água dessas comunidades são os

barreiros e as Cisternas de Placas. Estas últimas fazem parte do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), que tem como objetivo contribuir para a mitigação dos efeitos da seca. Porém, a capacidade de armazenamento destas cisternas só garante o suprimento de água para o consumo humano, o que impossibilita a prática da agricultura de subsistência em períodos de estiagem. Em consequência, os moradores são impelidos a migrarem para áreas urbanas em busca de emprego.

Neste sentido, e frente ao déficit hídrico e sanitário característico de comunidades rurais do semiárido nordestino, as “Fossas Verdes” assumem grande relevância e apresentam vantagens sobre os sistemas convencionais por conjugar baixos custos. No entanto, é necessário que se avance no conhecimento científico sobre o potencial e as limitações dessa tecnologia como método de tratamento de efluente doméstico e reuso, considerando as especificidades de cada região, incluindo os aspectos agronômicos, ambientais e, principalmente, sanitários.

Nesse contexto, empregar efluentes domésticos em diferentes culturas, pode ser viável desde que estudos comprovem os possíveis benefícios de tal prática para o solo e para a espécie vegetal cultivada. Para isso, faz-se necessário, dentre outros aspectos, conhecer o comportamento do solo e da produção vegetal (biomassa) frente a esse tipo de atividade.

Ante o exposto, foi formulada a seguinte hipótese:

A implantação de “Fossas Verdes” na comunidade Minguiriba, Crato – CE, possibilitará a reutilização das águas cinzas na agricultura e, por essa razão, contribuirá para a sustentabilidade sócioeconômica e ambiental da referida comunidade.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar a utilização da tecnologia “Fossa Verde” como alternativa de reutilização de águas cinzas no cultivo consorciado de milho e feijão na comunidade Minguiriba, Crato-CE

#### **3.2 Objetivos específicos**

- a) Quantificar as vazões de águas cinzas nas residências contempladas pelas Fossas Verdes;
- b) Determinar as características físicas, químicas e bacteriológicas das águas cinzas e águas da cisterna;
- c) Caracterizar o solo das Fossas Verdes, antes e durante seu funcionamento, sob os aspectos físicos e químicos.
- d) Dimensionar e implantar as Fossas Verdes.
- e) Comparar as características fenológicas das plantas cultivadas nas Fossas Verdes Teste com as cultivadas na Fossa Verde Controle.
- f) Capacitar a comunidade Minguiriba para implantação e operação das Fossas Verdes.
- g) Determinar o perfil socioeconômico da população da área de estudo;

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Desenvolvimento Rural Sustentável

Conforme Relatório Brundtland, em 1987 (CMMAD, 1992), o “desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazer suas próprias necessidades”. Segundo o mesmo relatório, esta definição encerra em si outros dois conceitos fundamentais: *i*) o conceito de *necessidades*, em particular as necessidades essenciais dos pobres, as quais se deveria outorgar prioridade preponderante; e *ii*) a idéia de limitações impostas pelo estado da tecnologia e a organização social entre a capacidade do meio ambiente para satisfazer as necessidades presentes e futuras.

A grande dificuldade que esse conceito traz reside na palavra *necessidades*, que, por ser uma construção social, varia segundo as pessoas e a sociedade em que vivem. Essa dificuldade conceitual resulta na conformação de distintas correntes do Desenvolvimento Sustentável, com repercussões nas orientações que definem as possibilidades e concepções de Desenvolvimento Rural Sustentável (DRS) e de Agricultura Sustentável.

Pode-se entender o DRS como um processo gradual de mudança que encerra em sua construção e trajetória a consolidação de processos educativos e participativos que envolvem as populações rurais, conformando uma estratégia impulsionadora de dinâmicas socioeconômicas mais ajustadas ao imperativo ambiental, aos objetivos de equidade e aos pressupostos de solidariedade intra e intergeracional (COSTABEBER e MOYANO, 2000).

Os problemas econômicos, sociais e ecológicos causados pelo modelo convencional de Desenvolvimento Rural são objetivamente certos: uma agricultura escassamente competitiva, que necessita de rígidas intervenções públicas para garantir preços adequados aos consumidores e rendas lucrativas aos produtores (XAVIER e DOLORES, 2001). Nesse contexto, é necessário refletir sobre os modelos de Desenvolvimento Rural que sejam sustentáveis, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis.

A construção de um Desenvolvimento Rural Sustentável está alicerçada com base em algumas dimensões básicas que se relacionam umas com as outras: ecológica,

econômica, social, cultural, política e ética. Diante de tal importância, estas serão definidas adiante para melhor compreensão do contexto de sustentabilidade.

✓ Dimensão ecológica – Baseada numa abordagem holística e um enfoque sistêmico, na quais, relaciona os impactos causados pela ação humana aos elementos do meio ambiente. A dimensão ecológica inclui a conservação e preservação das características químicas, físicas e biológicas do solo, dos recursos hídricos, melhoria da biodiversidade, bem como, o reuso de materiais e a ciclagem de nutrientes dentro do ecossistema local.

O conceito de sustentabilidade inclui, em sua hierarquia, a noção de preservação e conservação da base dos recursos naturais como condição essencial para continuidade de processos de reprodução socioeconômicos e cultural da sociedade, em particular numa perspectiva que considere tanto as atuais como as futuras gerações (CAPORAL e COSTABEBER, 2003).

✓ Dimensão social – Esta possui uns dos pilares de essencial importância dentro das premissas da sustentabilidade, onde juntamente com a dimensão ecológica adquire uma maior relevância, pois o produto gerado no ecossistema poderá ser usufruído de maneira equitativa pela sociedade. Inclui ainda, a busca por uma melhor qualidade de vida, através da percepção dos riscos causados aos alimentos pelo uso de agrotóxicos, optando por alternativas mais saudáveis para o consumo, como alimentos à base de insumos naturais, produzidos por meio de tecnologias apropriadas. Em suma, estabelece uma forma de conexão entre a sociedade e o meio ambiente.

✓ Dimensão econômica – Preconiza a realização do potencial econômico que contemple a adoção de sistemas de produção e de cultivo que minimizem perdas e desperdícios, garantindo uma ecoeficiência, atendendo as dimensões ecológica e social.

Segundo Caporal e Costabeber (2003), a insustentabilidade de agroecossistemas pode se expressar pela obtenção de resultados econômicos favoráveis às custas da depredação da base de recursos naturais que são fundamentais para as gerações futuras.

Ainda, segundo os autores, a lógica presente na maioria dos segmentos da agricultura familiar nem sempre se manifesta apenas através da obtenção de lucro, mas também por outros aspectos que interferem em sua maior ou menor capacidade de reprodução social.

Nessa abordagem, surge a importância de políticas públicas que viabilizem a implantação de tecnologia sociais em comunidades rurais, como as Fossas Verdes, pois auxiliam no cultivo de subsistência, além de conservar e preservar o solo, recursos

hídricos, valorizar a cultura popular, enfim, o ecossistema local. É importante ressaltar que, muitas vezes, essas tecnologias, não costumam obter retorno econômico considerável, mas que são importantes no processo de reprodução social e nos graus de satisfação dos membros da família.

✓ Dimensão cultural – Etapa crucial para o Desenvolvimento Rural Sustentável, pois aborda os saberes, o conhecimento popular e a cultura local das comunidades rurais, através da compreensão das pessoas que habitam essas localidades. Diante desse contato com a população, preconizada pela dimensão cultural, há o surgimento de exposição de problemas existentes, através de relatos dos próprios sujeitos, nas quais, passam a descrever procedimentos inadequados quanto ao manejo e uso do solo, que são comumente utilizados no plantio dos cultivares.

Nessa abordagem, há formação de construção do conhecimento e, em consequência, um delineamento de ações propulsoras para uma melhor interação do homem com o meio ambiente.

✓ Dimensão política – Está relacionada com a participação democrática da população, no processo de contextualização do Desenvolvimento Rural Sustentável, concebidas a partir do diálogo, das concepções culturais e políticas dos grupos sociais. A dimensão política permite envolver esses grupos no sentido da corresponsabilidade, do aprendizado e das ações alternativas para a melhoria da qualidade de vida.

Propostas de ações alternativas surgem através do método dialético, junto à Associação de Bairro, Sindicato, ou reuniões com os moradores em espaços onde estes possam discutir questões públicas específicas de atendimento à comunidade rural como: falta de coleta de lixo, coleta e tratamento de esgotos sanitários, de calçamento das estradas, de escola, posto de saúde, comércio, transporte coletivo, entre outros.

Com base nesse contexto, vale ressaltar Chambers (1983), lembra que, assim, espera-se que os agricultores e camponeses se transformem nos “arquitetos e atores de seu próprio desenvolvimento” (Altieri, 2001) condição indispensável para o avanço do empoderamento dos agricultores e comunidades rurais como protagonistas e decisores dos rumos dos processos de mudança social.

✓ Dimensão ética – A dimensão ética da sustentabilidade se relaciona diretamente com a solidariedade intra e intergeracional e com novas responsabilidades dos indivíduos com respeito à preservação do meio ambiente (CAPORAL e COSTABEBER, 2003). De acordo com Leff (2001) “A ética ambiental vincula a conservação da diversidade biológica do planeta com respeito à heterogeneidade étnica e cultural da espécie

humana. Ambos os princípios se conjugam no objetivo de preservar os recursos naturais e envolver as comunidades na gestão de seu ambiente”.

Para as comunidades rurais do Semiárido nordestino, a ética da sustentabilidade refere-se à necessidade de minimização da poluição ambiental que atinge o solo pela disposição inadequada de resíduos sólidos, lançamento de esgotos domésticos à céu aberto, contaminação dos lençóis freáticos subterrâneos e propicia doenças de veiculação hídrica, nas quais são gerados pelo acesso fragilizado das políticas públicas nessas localidades, como também pela relação do homem com a natureza.

#### **4.2 Tecnologia social e a convivência com o Semiárido**

O termo “Tecnologia Social” é pensado de forma ampla para as diferentes camadas da sociedade. O adjetivo “Social” não tem pretensão de afirmar somente a necessidade de tecnologia para os pobres ou Países subdesenvolvidos (JESUS e COSTA, 2011).

A Tecnologia Social (TS) compreende produtos técnicas e/ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que representem efetivas soluções de transformação social (RTS,2012). Fundamental ao conceito de TS é o de adequação sóciotécnica, como um processo de “reprojetamento” de tecnologias e técnicas já existentes ou do desenvolvimento de novas tecnologias segundo o interesse de valores dos próprios beneficiários (FRAGA, 2011).

Segundo Rodrigues e Barbieri (2008) *apud* Coelho (2013) os principais atributos da TS são: 1) baixo capital investido por unidade produzida; 2) simplicidade organizacional e de fácil replicação; 3) alto grau de adaptabilidade ao ambiente sociocultural; 4) valorização de práticas comunitárias; 5) autonomia local e controle social; 6) economia no uso de recursos naturais; e 7) gestão a partir de recursos locais.

Portanto, essas tecnologias representam alternativas tecnológicas interessantes, pois são ferramentas essenciais para a promoção de inclusão social, para o fortalecimento das práticas democráticas, bem como das práticas de desenvolvimento sustentável a longo prazo.

No trabalho de Melo et al (2008) ressalta-se que o semiárido brasileiro é umas das regiões mais povoadas entre todas as terras secas existentes nos trópicos, ou entre os trópicos, sendo sua população superior à vários países da América Latina e seu território superando em quilômetros quadrados vários países da Europa. Estes números reforçam

a complexidade geopolítica da região e o desafio de conviver com as peculiaridades climáticas locais.

No semiárido nordestino, os problemas relacionados à seca, são particularmente notáveis, propiciando a deficiência hídrica, irregularidade nas precipitações e solos com risco de degradação ambiental e limitações agropecuárias. O estado do Ceará possui cerca de 150 municípios situados no Semiárido, possuindo uma porcentagem de 86,8% de área na Unidade de Federação (UF) (SILVA, 2010).

De acordo com Mendonça (2011), na região semiárida do Cariri Cearense, as comunidades rurais situadas na Chapada do Araripe, são desprovidas de serviços de saneamento básico. Não há rede de abastecimento d'água e de esgoto e os resíduos sólidos são dispostos a céu aberto.

Segundo o autor, a grande problemática é que a exploração de recursos hídricos superficiais é feita através de escavações impermeabilizadas, chamadas “barreiros”, nas quais, estão sujeitos à contaminação por esgotos domésticos, que são lançados no solo sem nenhum tipo de tratamento prévio, causando a contaminação do solo, recursos hídricos subterrâneos e superficiais, além da disseminação de doenças de veiculação hídrica. Em suma, esses fatores propiciam condições inadequadas para vivência da população nessas localidades.

No entanto, é de suma importância a inserção de Tecnologias Sociais que envolvam técnicas de tratamento de esgotos domésticos nessas comunidades rurais que possuam estratégias e práticas relacionadas ao Saneamento Ecológico, tendo como proposta o reuso na produção de alimentos, através da integração dos ciclos de matéria e energia dos ecossistemas locais.

Essa alternativa propõe ações de convivência com o semiárido, possibilitando uma vida digna para a população, buscando garantir a permanência das famílias na região em que vivem, fortalecendo a identidade local, preservando os costumes e tradições e intensificando o vínculo com a terra.

### **4.3 Saneamento Ecológico**

Atualmente, a principal abordagem para o Desenvolvimento Rural Sustentável das comunidades situadas no semiárido nordestino baseia-se no Saneamento Ecológico. Esses sistemas de tratamento de efluentes podem ser realizados por meio de vários métodos de aplicação, que usam processos físicos, químicos e biológicos, sendo

empregados com sucesso no tratamento de esgotos domésticos em países da África, Europa e Ásia.

Define-se por Saneamento Ecológico uma gestão integrada de águas residuárias e do Saneamento. Tais soluções baseiam-se no encerramento sistemático de fluxos de materiais locais com a finalidade de fechar ciclo entre saneamento e a agricultura, enfocando os princípios de reciclagem da água e dos nutrientes, além de servir como alternativa de Saneamento Convencional (FONSECA, 2008).

O Saneamento Ecológico é baseado nas seguintes estratégias: 1) abordagem holística; 2) integração de soluções tecnológicas e de gestão; e 3) na redução da poluição como um processo de longo prazo (FONSECA, 2008). O enfoque desses sistemas fundamenta-se na proposta de mudança no modo como as pessoas pensam e agem com relação às águas residuárias e as excretas humanas.

De acordo com o autor, esse sistema baseia-se nos seguintes princípios: redução do consumo de água, da quantidade de esgoto a ser coletado, da distância de transportes dos esgotos e dos custos com escavação e infra-estrutura. Além disso, produz ações rotineiras de saneamento, visando:

- a) A racionalização do uso dos recursos públicos, humanos e materiais;
- b) A ativação de capacidades ociosas disponíveis nas comunidades;
- c) O incentivo à criatividade social voltada para a formulação e adoção de tecnologias apropriadas às condições específicas das comunidades.

Existem diferentes características originadas de esgotos como: águas cinzas (oriundas da lavagem de roupas, louças e do banho); água amarela (proveniente da urina) e as águas negras (advindas de fezes humanas).

As concentrações de matéria orgânica e de nutrientes em águas cinzas ainda são baixas, sendo possível alcançar bons padrões de tratamento com sistemas tipo Wetlands de fluxo horizontal ou vertical. Mesmo com alta carga hidráulica pode apresentar efluente com cerca de 1.000 NMP de Coliformes Termotolerantes/100 ml (OLDENBURG, 2003).

Segundo ainda o autor, a água amarela é o nome designado por chamar a urina pura, separada das fezes. Um dispositivo relativamente simples faz a separação da urina, evitando-se que ela se misture com as fezes, através de uma parede divisória no interior do vaso sanitário. Sem dúvida a urina humana é um adubo de alto valor, pois contém em torno de > 80% de Nitrogênio, > 58% de Fósforo e > 77% de Potássio.

As águas negras podem ser chamadas de “água marrom”, quando há fezes misturadas com urina e pouca água, podendo ser tratados por processos anaeróbios, com aproveitamento de biogás. Também se observa o aumento do biogás com co-fermentação com lixo orgânico, além de um lodo em condições próprias para o uso agrícola (WHO, 2006).

As Fossas Verdes são sistemas tecnológicos que se baseiam no tratamento de águas amarelas, marrons, pretas ou cinzas de forma separada ou combinada, podendo ser reutilizadas na agricultura, evitando o lançamento no solo e contaminação das águas subterrâneas.

O Saneamento Ecológico é ícone em Países desenvolvidos, por ser considerado a possibilidade mais viável de resolver os problemas de saneamento e segurança alimentar em diversas cidades.

A exemplo desse reconhecimento, a Agência Sueca de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento (*Swedish International Development Cooperation Agency - SIDA*), tem sido pioneira na promoção ativa de programas de Saneamento Ecológico seco, coletadas em sistemas de descarga por vácuo (*Dry Sanitation*) (DRANGERT, 1997 apud FONSECA, 2008).

O Projeto ECOSAN – *Ecological Sanitation*, promovido pela empresa de Cooperação Técnica da Alemanha (*Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit - GTZ*) e financiado pelo Ministério Federal para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento Alemão (BMZ). Também conta com a cooperação do Banco Mundial, da União Européia, da Organização das Nações Unidas – ONU, do Banco Africano e Asiático e Desenvolvimento, entre outros (FONSECA, 2008).

No Brasil, o Programa de pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB pode ser considerada a mais importante rede de pesquisa sobre tecnologias de tratamento que visam o reaproveitamento dos esgotos sanitários tais como: Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (UASB); Disposição controlada no solo; Filtros Anaeróbios e Lagoas Anaeróbias.

Portanto, essas práticas em municípios brasileiros, inclusive em comunidades que situam-se no Semiárido nordestino, nas quais, vivenciam comumente a problemática de carência de Saneamento e escassez de água, são altamente relevantes na promoção de desenvolvimento de Programas ambientais e sociais que incluam o reuso e economia de água.

#### 4.4 Agricultura Sustentável

A agricultura é uma atividade que permite ao homem produzir alimentos e recursos renováveis e contribui, também, para o desenvolvimento do meio rural (VILELLA e COSTA, 2010). Ao longo dos séculos, a produção agrária tem desenhado paisagens de grande beleza e contribuído para a preservação da biodiversidade através da utilização das terras de uma forma adequada às condições naturais (agricultura tradicional).

Diversos fatores, entre os quais o aumento exponencial da população humana e as políticas agrárias desenvolvidas, têm originado outro tipo de agricultura na qual predominam as técnicas intensivas, com recurso a produtos agro-químicos, apresentando consequências graves no ambiente, destacando-se a poluição do ambiente, o esgotamento dos recursos naturais e o êxodo rural (CCE, 1998; MARTA-COSTA, 2001; COSTA e POETA, 2003).

Se, por um lado, a agricultura tradicional contribui para a proteção do ambiente e dos recursos naturais, mas com menor rentabilidade, a utilização de métodos agrários mais intensivos origina, por outro, vários problemas, destacando-se a degradação ambiental (VILELLA e COSTA, 2010).

As consequências negativas observadas nestes modelos têm induzido a procura de paradigmas alternativos para o desenvolvimento de uma agricultura que visa a sua sustentabilidade, em todas as partes do mundo. É o caso da Agricultura Biodinâmica (Áustria); da Agricultura Biológica (Estados Unidos e Portugal); da Agricultura Ecológica (Espanha); da Agricultura Natural (Japão); da Agricultura Orgânica (Inglaterra); e da Agricultura Regenerativa (França) (NAVARRO, 2002).

Os movimentos que defendem uma produção agrária de maior qualidade surgem, nos diferentes países, com nomes distintos, mas com princípios semelhantes, nomeadamente de “agroecologia”. Nos anos noventa, o conceito ampliou-se e trouxe uma visão mais integrada e sustentável entre as áreas de produção e preservação, procurando resgatar o valor social da agricultura e passou a ser conhecida como “agricultura sustentável”.

De um ponto de vista ambiental, a agricultura sustentável inclui a redução do uso de recursos não-renováveis e um uso racional de recursos renováveis, mantendo ou elevando a sua qualidade, através da minimização de perdas; otimizando a taxa de retorno e de reciclagem energética e de nutrientes; maximizando a capacidade de uso

múltiplo da paisagem, assegurando um fluxo energético eficiente e encorajando a produção local de alimentos adaptados ao ambiente natural e socioeconômico (REIJNTJES *ET AL.*, 1992; WILKINSON, 1992; E ALTIERI, 1995, apud ESQUIVEL, 1998)

A viabilidade econômica pode ser alcançada através do uso de tecnologias apropriadas de baixo custo; diminuição do uso de fatores de produção externos tais como fertilizantes e pesticidas; aumento da qualidade dos produtos; uso de tecnologias energéticas, da terra e do trabalho mais eficientes; energia de fontes renováveis; uso crescente de fatores de produção obtidos na exploração; adoção de espécies adaptadas ao ambiente local; ou seja, construção de sistemas mais integrados que sejam mais estáveis face às pressões externas.

Os aspectos sociais da agricultura sustentável estão principalmente relacionados com uma distribuição equitativa de receitas; de acesso aos recursos e à informação; e de uma participação ativa dos envolvidos na investigação e processos de tomada de decisão.

#### **4.5 Reuso de efluentes na agricultura**

Nas regiões áridas e semiáridas, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos procuram continuamente novas fontes de recursos para complementar a pequena disponibilidade ainda disponível (HESPANHOL, 2003).

Ainda, de acordo com o autor, as águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente de origem doméstica, águas de chuva, águas de drenagem agrícolas e águas salobras, devem, sempre que possível ser consideradas fontes alternativas para usos menos restritivos.

O reuso planejado de efluentes domésticos na agricultura vem sendo apontado como uma medida para atenuar o problema da escassez hídrica no semiárido brasileiro, sendo uma opção para os agricultores (SOUSA *et al.*, 2003 apud BARROSO e WOLFF, 2011).

Efluentes de sistemas convencionais de tratamento, tais como lodos ativados, têm uma concentração típica de 15 mg/litro de Nitrogênio Total e 3 mg/litro de Fósforo Total, proporcionando, portanto, às taxas usuais de irrigação em zonas semiáridas

(aproximadamente 2 metros por ano), uma aplicação de nitrogênio e fósforo de 300 e 60 Kg/ano, respectivamente (HESPANHOL, 2003).

Essa aplicação de nutrientes reduz substancialmente, a necessidade de emprego de fertilizantes comerciais. A aplicação de esgotos proporciona a adição de matéria orgânica, que age como um condicionador de solo, aumentando a sua capacidade de reter água (HESPANHOL, 1994, 1997).

Estes efluentes depois de tratados, normalmente apresentam baixa demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e reduzida carga microbiana, além de conterem vários macros e micronutrientes importantes para o desenvolvimento de culturas agrícolas (FEITOSA *et al.*, 2009 BARROSO e WOLFF, 2011)

A Agenda 21 dedicou importância especial ao reuso, recomendando aos países participantes da ECO-92, a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, integrando proteção da saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas (BARROSO e WOLFF, 2011).

A implantação de sistemas de reuso 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 (BERNARDI, 2003).

É importante ressaltar que a implantação de sistemas de reuso apresentam também significativos impactos positivos em termos socioeconômicos e ambientais. Segundo Hespanhol (2003) as principais melhorias propiciadas pelo reuso são:

- ✓ Minimização das descargas de esgotos em corpos d'água;
- ✓ Preservação dos recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos;
- ✓ Permite a conservação do solo, pela acumulação de húmus, e aumenta a resistência à erosão;
- ✓ Aumenta a concentração de matéria orgânica do solo, possibilitando maior retenção de água;
- ✓ Contribui, principalmente em áreas carentes, para o aumento de produção de alimentos, elevando, assim os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de população associadas aos esquemas de reuso.

Para o reuso agrícola, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda, para irrigação irrestrita de vegetais a ser ingerida crua, a contagem de coliformes fecais  $\leq 1.000/100\text{mL}$  e de ovos de helmintos  $\leq 1/\text{litro}$ . Para uso restrito, o último parâmetro é a única referência (OMS, 1989).

No Ceará, nordeste brasileiro, há um instrumento orientador sobre o reuso na irrigação, que é a Portaria nº 154 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE, 2002) que dispõe sobre padrões de lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Neste instituto, o limite imposto para irrigação restrita é de 5.000 CF/100mL, permanecendo as mesmas restrições quanto a helmintos e à irrigação irrestrita da OMS (BARROSO e WOLFF, 2011).

#### 4.6 Fossa Verde

As fossas verdes constituem projeto-piloto para o semiárido nordestino. Entretanto, esta técnica de biorremediação de esgoto doméstico não é novidade no Ceará. Trata-se de uma alternativa de esgotamento sanitário implantada nas comunidades pesqueiras de Icapuí em 2008, por meio do Projeto “De Olho na Água” contemplando 200 famílias (SOARES, 2009).

A fossa verde está baseada nos princípios do Saneamento Ecológico e da Permacultura, pois abordam os processos naturais de degradação microbiana da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, absorção e evapotranspiração pelas plantas, valorizando a reciclagem da água e nutrientes presentes nas excretas humanas (ESREY, 1998).

Para Coelho (2013), os centros permaculturais disseminam outros modelos baseados no Saneamento Ecológico como: Estação de Tratamento de Esgotos por Zona de Raízes (ETEZR), o círculo de bananeiras e o banheiro seco. Existem ainda os Wetlands, sistemas bastante utilizados e baseados em jardins ecológicos como forma de tratamento de esgotos.

Esses últimos são algumas de várias denominações utilizadas para designar lagoas, tanques ou canais rasos (usualmente com profundidade inferior a 1,0 m) que abrigam plantas aquáticas e possuem como princípio de funcionamento os mecanismos biológicos, físicos e químicos para tratar esgotos (VON SPERLING et al, 2009).

As ETEZR tem seu funcionamento baseado na atividade das macrófitas aquáticas, principalmente as emersas, como a Taboa (*Typhia domingens*) e flutuantes,

como a alface-de-água (*Pistia sp.*). Apesar da reconhecida capacidade de depuração do esgoto, esse tipo de “ETE-VERDE” apresenta problemas como proliferação de mosquitos devido à presença de sólidos suspensos e mau cheiro relacionado ao tempo de residência do esgoto no local (ESTEVEES, MEIRELLES-PEREIRA, 2011 apud COELHO, 2013).

As fossas de bananeiras, ou Bacias de Evapotranspiração, são sistemas utilizados para tratamento de águas negras, onde os resíduos são decompostos pelas bactérias dentro da câmara de pneus e nos espaços criados entre as pedras. A água percola de maneira ascendente, passando pelas camadas de brita, areia e solo, chegando até as raízes das plantas.

Nos banheiros secos os dejetos ficam acondicionados em compartimentos inferiores ao vaso sanitário e sofre influência de temperatura, umidade, material orgânico e microorganismos. A descarga do sistema é realizada jogando o material terroso, restos de vegetais e/ou pó de serra para auxiliar no processo de compostagem. Após o período de um ano, o lodo pode ser retirado do compartimento como condicionante do solo (VAN LENGEM, 2008).

Porém os banheiros secos possuem alguns aspectos negativos quanto à manipulação do material compostado, pois esse tipo de tratamento produz odor desagradável e propicia à proliferação de moscas, tornado a implantação do sistema em comunidades rurais de difícil aceitabilidade.

As fossas sépticas são formas de tratamento de esgotos individuais ou coletivas, e devem realizar um grau de tratamento compatível com sua simplicidade e custo (PESSOA e JORDÃO, 1995). As etapas do funcionamento de uma fossa séptica são: retenção do esgoto, decantação do esgoto, digestão anaeróbia do lodo e redução do volume do lodo.

As fossas rudimentares são valas construídas sem nenhuma camada impermeabilizada no fundo. As águas negras são lançadas dentro do sistema e em consequências infiltra no solo contaminando as águas subterrâneas, se tornando um tipo de solução inapropriada para comunidades rurais devido aos riscos de poluição ambiental.

Ressalta-se que a técnica de biorremediação de esgoto representada pela fossa verde contempla as considerações da Agenda 21 Brasileira e a Legislação de Saneamento Básico Nacional. Neste panorama, relacionado ao tratamento de esgotos, o sistema fossa verde perpassa como uma alternativa viável ao semiárido nordestino,

contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população beneficiária e promovendo a sustentabilidade do ecossistema local.

Segundo pesquisas realizadas por Pinheiro (2011) e Wiegand et al (2011), duas escalas foram utilizadas para construção de fossas verdes: a padrão (1,0 m x 1,5 m x 2,0 m<sup>3</sup>) e a grande (3,0 m x 2,0 m x 1,0 m<sup>3</sup>). O tamanho padrão é indicado para residências onde há uma média familiar de até seis pessoas, enquanto o sistema com maior dimensão é utilizado para locais com maior demanda de esgoto domiciliar, como escolas e postos de saúde.

As culturas selecionadas deverão se adequar aos níveis de fósforo, nitrogênio e, sobretudo, ao teor de salinidade do substrato. Para Galbiati (2009), as plantas sugeridas para serem cultivadas no sistema são bananeira, taioba, mamão, plantas ornamentais, pimentão, couve, tomates, pimenta de cheiro, papoula, babosa, pepino, capim-santo e malvarisco (hortelã grande).

Para a presente pesquisa, os cultivares selecionados para plantio consorciado no sistema fossa verde foram o milho e feijão crioulos. Ambos escolhidos devido o semiárido nordestino possuir condições favoráveis ao desenvolvimento destes, além de serem bastante utilizados pelos camponeses da comunidade Minguiriba em Crato – Ceará.

#### **4.7 Milho**

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta que pertence à família Gramineae/ Poaceae. É uma das mais eficientes plantas armazenadoras de energia existentes na natureza. De uma semente que pesa pouco mais de 0,3 g irá surgir uma planta geralmente com mais de 2,0 m de altura, isto dentro de um espaço de tempo de cerca de nove semanas (EMBRAPA, 2002).

Na região semiárida do nordeste brasileiro as secas periódicas favorecem sérios problemas socioeconômicos na agricultura. Com uma distribuição irregular de chuvas, cuja precipitação pluviométrica varia de 300 mm a 700 mm ao ano, tem provocado safras desvantajosas, propiciando prejuízos à agricultura e renda das famílias.

Nesse cenário, a utilização de variedades superprecoces de milho, poderá reduzir os riscos do cultivo desse cereal, proporcionando melhoria da produtividade dos sistemas de produção dos pequenos e médios produtores rurais do semiárido nordestino (CARVALHO et al, 2004).

É uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e, geralmente, requer adubação nitrogenada para completar a quantidade suprida pelo solo (COELHO et al. 2002). Nos países do Terceiro Mundo, o uso de adubação nitrogenada é limitado, pois, o pequeno produtor utiliza esse insumo agrícola de alto custo, somente quando o preço de seu produto é estimulador (RIBASKI et al. 2001).

Nas pequenas propriedades familiares, a utilização de variedades ao invés de híbridos de milho é vantajosa, pois as variedades permitem o uso de sementes próprias em cultivos subseqüentes, e assim o custo de produção é menor (SCHONS et al. 2009). O cultivo consorciado de duas culturas como o feijão e milho, pode ser uma alternativa para melhorar o aproveitamento da área e a ocupação do solo, gerando alimento e renda.

#### **4.8 Feijão caupi**

A espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp, apresenta vários nomes vulgares no Brasil, sendo conhecida como feijão-de-corda, feijão-macassar ou feijão-caupi na região Nordeste; feijão-da-colônia e feijão-de-praia na região Norte; e feijão-miúdo na região Sul. É também conhecido por feijão-catador e feijão-gurutuba em algumas regiões da Bahia e Norte de Minas Gerais e de feijão-fradinho nos estados da Bahia e Rio de Janeiro (FREIRE FILHO et al., 2005).

A grande produção de feijão-caupi no Brasil encontra-se na região Nordeste, onde constitui um dos principais componentes da dieta alimentar do nordestino, além de ser também um importante gerador de emprego e renda. No entanto, nos últimos anos a cultura vem adquirindo maior expressão econômica, e seu cultivo tem sido realizado em áreas irrigadas, onde se empregam tecnologias mais adequadas na produção (RAMOS, 2011).

A planta é classificada como moderadamente tolerante tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo. O requerimento de água desta cultura é variável com o seu estágio de desenvolvimento. O consumo de água aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (NÓBREGA et al., 2001).

Lima (2006), estudando o balanço hídrico no solo cultivado com feijão-caupi, concluiu que a evapotranspiração para o ciclo e média diária foram de 383,02 mm e 4,12 mm, respectivamente. O maior consumo de água ocorreu na fase reprodutiva, com valor médio de 3,65 mm dia<sup>-1</sup>(RAMOS, 2011).

Atualmente, as pesquisas têm permitido o lançamento de variedades de feijão-caupi que, além de resistentes às doenças, possuem caracteres agronômicos altamente favoráveis à produção de grãos secos. As cultivares, normalmente, apresentam uma elevada resposta à irrigação e podem ser utilizadas para a produção de grãos secos ou verdes (OLIVEIRA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2003).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Localização da pesquisa

O município de Crato, com uma área de 1.117,5 Km<sup>2</sup>, localiza-se na região sul do Estado do Ceará, com sede municipal na posição geográfica 7°14'03" de latitude ao sul e 39°24'34" de longitude ao oeste (IPECE, 2014).

De acordo com o censo do IBGE (2010), o município do Crato possui uma população de 121.428 habitantes, com 16,89 % dessa população residindo em áreas rurais.

O município tem uma divisão político-administrativa em nove distritos, além da sede Crato. São eles: Baixio das Palmeiras, Belmonte, Campo Alegre, Dom Quintino, Monte Alverne, Bela Vista, Ponta da Serra, Santa Fé e Santa Rosa (IPECE, 2014). A Tabela 1 mostra as comunidades pertencentes a cada um dos distritos.

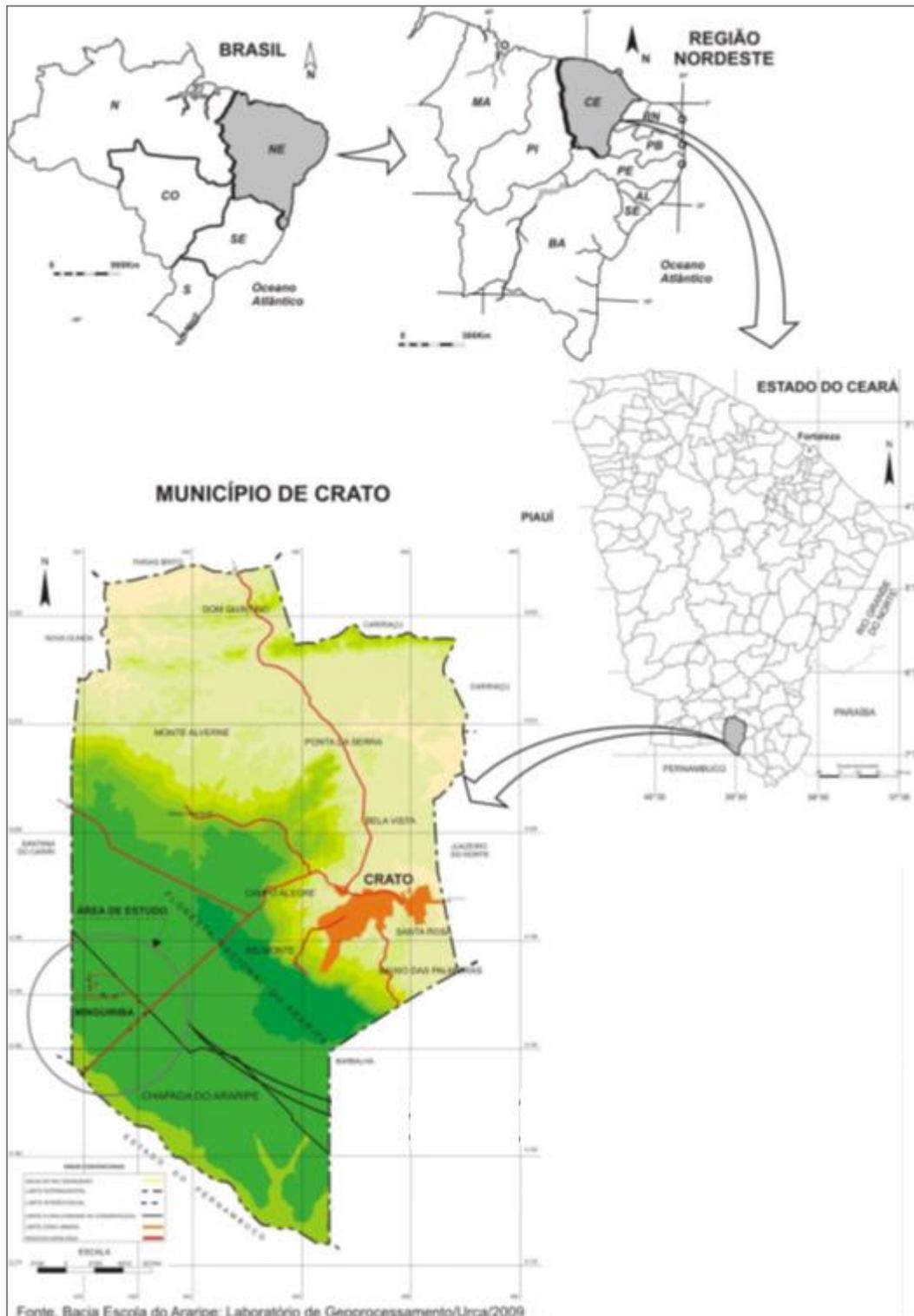
**Tabela 1: Distritos e localidades pertencentes ao município de Crato, CE.**

DISTRITOS	LOCALIDADES
Baixio das Palmeiras	Chapada dos Baixios, Chico Gomes, Baixio dos Oitis, Currais, Romualdo, Baixio do Muquém, Baixio dos Cordas, Chapada do Calange, Sítio Monteiro, Carretão, Sítio Barreiro e São Vicente.
Campo Alegre	Bom Fim, Guaribas, Páscoa, Lages, Almecegas, Olho D'água, Cajazeiras, Zabelê, Mane Coco, Minguiriba, Mata, Serrinha, Anil, Sítio Campo Alegre, Gonçalo, Lama Podre, Pelado e Batateiras.
Santa Rosa	Chapada do Sr. Calange, Mata, Chapada do Sr. Luizão, Mata do Sebastião, Monteiro, Baixio dos Monteiros e Baixio dos Robertos, Cabeceiras, Santa Rosa, São José e São Gonçalo, Muriti de Cima, Muriti de Baixo, Barro Branco, Vila Lobo.

Santa Fé	Sítio Cruzeiro, Sítio Boa Vista, Anil, Palmeirinha, Urucum, Brejinho, Santo Antonio, Sítio Areias, Terra Quebrada, Baixa do Maracujá, Valentim, Riacho Fundo, Riacho Vermelho, Barreirinha, Engenho da Serra, Sítio Lopes, Juá, Sítio Boa Vista, Araticum, Barreiras, Cabreiro, Cancelão, Engenho Velho, Fábrica Jacu, Rosário e Trindade.
Dom Quintino	Umari, Breá, Inxu, Faustino, Lagoinha dos Costas, Lagoa do Faustino, Cutia, Areia, Ipueira da Palha, Cachoeira dos Gonçalves, Zabelê, João Grande, Boqueirão, Olho D'Água, Sanhoral, Mineiro, Estrada da Serra Verde, Sítio Barra, Caninana, Faustino, Mandante, Oitizeiro, Taquari e Varzinha.
Monte Alverne	Coretinho, Poço Dantas, Lagoinha, Gerais, Tabocas, Vila Nova, Boa Vista, Assentamento 10 de abril, Araticum, Corrente Grande, Corrente Pequeno, Caiçara, Caldeirão, Má Cozido, Umari e Umbarana.
Bela Vista	Serraria, Sítio Alegre, Baixio Verde, Caboclo, Jenipapo, Vila Santo Expedito, e Vila Guilherme, Bela Vista, Buenos Aires, Fernandes, Lagoa Encantada, Leite, Mata Escura, Monte Alegre, Pipiri, Teotônio, Vila Padre Cícero e Vila São Bento.
Belmonte	Belo Horizonte, Coqueiro, Rosto de Baixo, Luanda, Bucânia, Mata Velha, São João, Novo Lameiro, Bebida Nova, Belmonte dos Mendonças, Belmonte dos Pinheiros, Buriti da Serra, Corujas, Mindoia, Preguiça, Rosto de Cima, São João dos Araujos, Vila Encantada, São Vicente, Sítio Tunda.
Ponta da Serra	Umburana, Mata, Malhada, Quebra, Juá, Palmeirinha dos Britos, Araçás, Cipós dos Thomas, Jenipapeiro, Jaburu, Caldeirão, Palmeirinha dos Vilar, Altos, Sítio Pai Mane, Catingueira, Rodeador, Lages, Boi Morto, Boa Esperança, Lagoa Rasa, Monte Alegre, Vila Porfírio, Gonçalo, Vila São Francisco, e Serrinha de Baixo, Angico, Aquário, Balsamo, Buracão, Caboclo, Cunati, Jenipapo, Macapá, Pato, Vila Pai Mane, Vitoria.

Fonte: Site da prefeitura do Crato (2015)

A pesquisa aqui discutida foi desenvolvida na comunidade rural Minguiriba, localizada no Distrito de Campo Alegre, setor oriental (porção leste) da Chapada do Araripe, com altitude que varia de 870 a 974 metros, conforme Figura 1.



**Figura 1 - Localização geográfica da comunidade rural Minguiriba, Crato, Ceará, Brasil.**  
**Fonte: Adaptado de Souza, 2012.**

O topo da chapada que corresponde à área em estudo é caracterizado pela vegetação de cerradão, solos férteis e escassez de água (CARVALHO, 2013).

De acordo com a Secretaria Municipal de Saúde, através do Sistema de Informação de Atenção Básica (SIAB, 2013), a comunidade Minguiriba possuía 285 habitantes. Em relação ao nível de escolaridade, 46,30% da população com idade acima de 15 anos eram analfabetos. Quanto ao abastecimento de água, 52,31% das residências utilizavam poços ou nascentes e 48,69% utilizavam cisternas de placas e barreiros. Com relação ao tratamento da água utilizada para o abastecimento humano, 56,92% da população consumia água sem nenhum tipo de tratamento. Para o destino dos esgotos domésticos, 1,54% das residências utilizavam fossas rudimentares e 98,46% os lançavam a céu aberto. Com relação aos resíduos sólidos, cerca de 95,38% eram depositados a céu aberto, 3,08% eram queimados ou enterrados e apenas 1,54% eram coletados pela Prefeitura Municipal.

Segundo dados da Unidade Gestora Microrregional ACB (Associação Cristã de Base), na comunidade Minguiriba, em 2013, foram implantadas 22 cisternas de 16.000 litros destinadas ao consumo humano. Essas cisternas atendem a 110 pessoas. Quanto as cisternas destinadas à produção (52.000 litros), foram construídas 11 unidades que atendem 55 pessoas.

## **5.2 Material e Método**

A pesquisa foi tratada de forma exploratória, natureza qualitativa e quantitativa, delineada por pesquisa bibliográfica e experimental. Este projeto é fortemente caracterizado pela pesquisa-ação, pois esse método é aplicado em ambientes de interação social que procura desenvolver o conhecimento e a compreensão através das percepções dos moradores a partir de um problema específico existente na comunidade, propondo resultados positivos através de aspectos práticos.

O conteúdo apresentado nesse item engloba os procedimentos de levantamento da área de estudo, quantificação das vazões de esgotos das residências da área de estudo, caracterização físico-química e bacteriológica das águas cinzas e da água da cisterna C2, caracterização do solo, dimensionamento e implantação da fossa verde, produção das mudas de milho e feijão, caracterização fenológica das plantas, produção

do milho e feijão por unidades fossas verdes e capacitação da comunidade através da Educação Ambiental.

Para escolha da área estudada, foram realizadas visitas as comunidades rurais localizadas nos nove distritos do município do Crato (Tabela.1). Durante essas visitas, foi aplicado um questionário, abordando questões referentes a aceitabilidade quanto a implantação da "Fossa Verde" e ao tipo de cultivar de interesse dos moradores.

Após avaliação das respostas, constatou-se que os moradores demonstraram bastante interesse em possuir a tecnologia "Fossa Verde". Porém, foi escolhida, para esta pesquisa, uma área da comunidade Minguiriba, a qual, por possuir seis residências muito próximas umas das outras, possibilitou a implantação de um sistema "Fossa Verde" comunitário piloto. Os cultivares de interesse dessa comunidade foram: milho e feijão. Por essa razão, nesta pesquisa, foi feito o cultivo consorciado de milho e feijão no sistema fossa verde.

O sistema fossa verde foi constituído por quatro fossas, sendo três irrigadas com águas cinzas (denominadas fossas teste) e uma com água de cisterna (denominada fossa controle).

Na Tabela 2 consta a localização das seis (6) residências (R1 a R6) contempladas pelas Fossas Verdes, o número de habitantes de cada residência e a quantidade de cisternas que abastecem as residências (conforme Figura 2).

**Tabela 2 - Localização das residências contempladas pela Fossa Verde, número de habitantes e número das cisternas que abastecem essas residências, comunidade Minguiriba, Crato-CE.**

<b>Residência</b>	<b>Localização</b>	<b>Nº de habitantes</b>	<b>Quantidade de cisternas que abastecem as residências</b>	<b>Nº das cisternas</b>
R1	7° 18' 9.987" S 39° 33' 12,354" W	09	C1	210.833
R2	7° 18' 9.5" S 39° 33' 12.1" W	04	C2	210.830
R3	7° 18' 9.206" S 39° 33' 11.799" W	02		
R4	7° 18' 9.011" S 39° 33' 11.636" W	03		
R5	7° 18' 9.076" S 39° 33' 11.538" W	04		
R6	7° 18' 8.881" S 39° 33' 11.342" W	03		

**Fonte: Pesquisa direta**



Figura 2 – Cisternas que abastecem a área de estudo da comunidade Minguiriba, Crato-CE: (a) Cisterna nº 210.833 (C1) e (b) Cisterna nº 210.830 (C2).

### 5.3 Quantificação das vazões de esgotos das residências da área de estudo

As medições das vazões de esgotos (equação 1), que variam bastante em função dos costumes dos habitantes das residências, foram realizadas a partir da determinação do *consumo médio per capita* de água ( $q$ ), da consideração do número de habitantes das residências e do coeficiente de retorno ( $c$ ). O coeficiente de retorno corresponde a relação média entre o volume de esgoto produzido e o volume de água efetivamente consumido.

$$\text{Vazão} = q * n^{\circ} \text{ de habitantes} * c \quad \text{Equação 1}$$

O consumo per capita de água foi determinado por meio da equação 2. Para a obtenção do volume consumido, foram realizadas medições diárias do nível de água das cisternas utilizadas no abastecimento das residências. Esta etapa foi de suma importância para o dimensionamento das Fossas Verdes para a localidade.

$$\text{Consumo per capita } (q) \text{ L/hab.dia} = \text{volume consumido} / (n^{\circ} \text{ de habitantes} \cdot \text{tempo}) \quad \text{Equação 2}$$

Quanto ao coeficiente de retorno, foi utilizado o valor recomendado pela NBR - 9649 (1986), que é de 0,8. Este valor deve ser utilizado quando inexistirem dados do local.

A determinação do consumo per capita de água descrito acima é importante porque, a partir do valor obtido, é possível estimar o potencial hídrico diretamente relacionado com as águas cinzas da área estudada.

Após quantificação do esgoto produzido pela população da área estudada, foi feita a determinação do volume diário das águas cinzas provenientes exclusivamente da atividade de banho realizada no banheiro coletivo, abastecido pela cisterna C2. Essa quantificação teve como objetivo verificar se a contribuição diária das águas cinzas provenientes do banheiro coletivo era suficiente para suprir a demanda hídrica dos cultivos das três fossas verdes teste. Esse procedimento, além de facilitar a implantação do sistema de coleta das águas cinzas, também dispensa a necessidade de pré-tratamento à remoção de sólidos grosseiros, constituindo-se, assim, numa tecnologia social adequada à realidade da área estudada.

Nesta etapa os próprios moradores participaram do processo, informando sobre a estimativa do uso de água para o banho de crianças e adultos no banheiro coletivo.

As medições dos volumes de águas cinzas gerados no banheiro coletivo foram executadas através de recipientes de volumes conhecidos (balde), com capacidade volumétrica de 5 litros, para os banhos das crianças, e de 18 litros para os banhos dos adultos.

Na Tabela 3 consta o total de usuários do banheiro coletivo, as frequências dos banhos, o consumo per capita de água por banho e o volume diário de água cinza produzido pela população da área de estudo, localizada na comunidade Minguiriba, Crato- CE.

**Tabela 3 – Total de usuários do banheiro coletivo, frequências diárias dos banhos, consumo per capita de água por banho e volume diário de água cinza produzido pela população da área de estudo, na Comunidade Minguiriba, Crato – CE.**

<b>Atividade</b>	<b>Total de usuários do banheiro coletivo</b>	<b>Frequência diária dos banhos</b>	<b>Consumo per capita de água por banho (L/hab.banho)</b>	<b>Volume diário de água cinza no banheiro coletivo (L/dia)</b>
Banho	12 crianças	01	60	222
	09 adultos	01	162	

Fonte: Pesquisa direta

#### **5.4 Caracterização físico-química e bacteriológica das águas cinzas e da água da cisterna C2**

Para a caracterização físico-química das águas cinzas e da cisterna foram coletadas amostras em garrafas plásticas com capacidade de 2 litros, com posterior armazenamento em caixas térmicas com gelo para conservação. Os parâmetros analisados estão listados na Tabela 4. Os procedimentos analíticos foram realizados no prazo máximo de 48 horas após coletas das amostras.

Para as análises bacteriológicas (coliformes totais e termotolerantes) foram utilizados frascos de vidro com capacidade mínima de 125 mL, esterilizados em autoclave a 121°C, por 15 minutos, e protegidos com papel laminado. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas contendo gelo. O tempo entre as coletas e as análises das amostras no laboratório não excedeu 12 horas.

Ao todo foram realizadas seis coletas (n=6) de água cinza e seis de água da cisterna. Após coletadas, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises Físico-Químicas de Águas e Efluentes (LAAE) e para o Laboratório de Análises Microbiológicas de Águas e Efluentes (LMAE) da Faculdade de Tecnologia - FATEC Cariri, em Juazeiro do Norte – CE.

Os ensaios físico-químicos e bacteriológicos foram realizados de acordo com as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Para a Razão de Adsorção de Sódio – RAS, foi seguida a metodologia de Ayers & Westcot (1991).

**Tabela 4 – Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos determinados nas águas cinzas e na água da cisterna C2, utilizadas para irrigação das fossas verdes instaladas na comunidade Minguiriba, Crato, CE.**

Variáveis físicas e químicas	Unidade	Metodologia
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	Eletrométrico
Condutividade Elétrica (CE)	$\mu\text{S/cm}$	Eletrométrico
Cloretos	$\text{mg Cl}^-/\text{L}$	Argentométrico
Dureza total	$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$	Titulométrico com EDTA
Cálcio	$\text{mg Ca}^{2+}/\text{L}$	Titulométrico com EDTA
Sódio	$\text{mg Na}^{2+}/\text{L}$	Fotômetro de chama
Potássio	$\text{mg K}^{2+}/\text{L}$	Fotômetro de chama
Nitrato	$\text{mg N - NO}_3^-/\text{L}$	Salicilato
Sólidos dissolvidos totais (STD)	$\text{mg/L}$	Gravimétrico
Sólidos Suspensos Totais (SS)	$\text{mg/L}$	Gravimétrico
RAS	$\text{meq/L}$	Relação das concentrações de sais de Cálcio, Magnésio e Sódio
Coliformes totais	$\text{NMP}/100 \text{ mL}$	Tubos múltiplos (NMP)
Coliformes termotolerantes		

## 5.5 Caracterização do solo

### 5.5.1 Determinação da fertilidade

A análise de fertilidade foi realizada em amostras de solo coletadas na área onde foram implantadas as fossas, antes da implantação das mesmas, e no interior de cada fossa após as colheitas.

As coletas das amostras foram realizadas por meio da retirada de subamostras, andando em ziguezague de forma a percorrer toda a área ao acaso, em camadas de 0 a 20 cm, com um trado de rosca. Em cada fossa foram coletadas cinco subamostras entre as fileiras dos cultivares de milho e feijão. Na área de implantação das fossas, foram coletadas 12 subamostras (Figura 3).

Após coletadas, cada subamostra foi colocada em um balde e misturada. Dessa mistura foi retirada uma amostra de aproximadamente 2 kg, que foi acondicionada em saco plástico devidamente identificado e enviada para o Instituto Brasileiro de Análises de Solo e Adubo – ICASA, em Campinas - São Paulo, para determinação dos parâmetros: pH, H+Al, matéria orgânica e suas frações, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, capacidade de troca de cátions (CTC), percentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0, boro, cobre, ferro, manganês, zinco, condutividade elétrica, nitrato, sódio e percentagem de sódio trocável. Todos os procedimentos analíticos seguiram recomendação da Embrapa (2001).



**Figura 3 – Coleta de subamostra de solo na área de implantação das fossas para análise de fertilidade.**

## **5.6 Dimensionamento e implantação da Fossa Verde**

### *5.6.1 Cálculo da lâmina d'água de cada fossa verde*

De acordo com Cruz et al (2006) o ciclo do cultivo do milho crioulo é de 120 dias, necessitando, nesse período, de 450 mm de água, resultando em uma lâmina d'água diária de 3,75 mm ( $\text{lâmina d'água} = \text{volume de água por ciclo} / \text{ciclo da cultura}$ ). Quanto a cultura do feijão crioulo, em seu ciclo completo de 90 dias, é necessário 380 mm de água para produzir uma lâmina d'água diária de 4,22 mm.

### *5.6.2 Cálculo da vazão de água em cada fossa verde*

A vazão de água em cada fossa foi determinada a partir da Equação 3:

$$\text{Vazão de água em cada fossa verde} = A * L \quad \text{Equação 3}$$

Onde  $A$  é a área de cada unidade de fossa e  $L$  é a lâmina d'água do feijão, cultivar com maior demanda hídrica no sistema consorciado de milho e feijão. Para esse cálculo foi considerada a área padrão para a fossa tamanho grande, que é de  $6\text{m}^2$  (COELHO, 2013). Essa área permite a obtenção da vazão requerida para irrigar os cultivos em cada fossa, que é 25 L/dia.

### 5.6.3 Dimensionamento das caixas receptoras

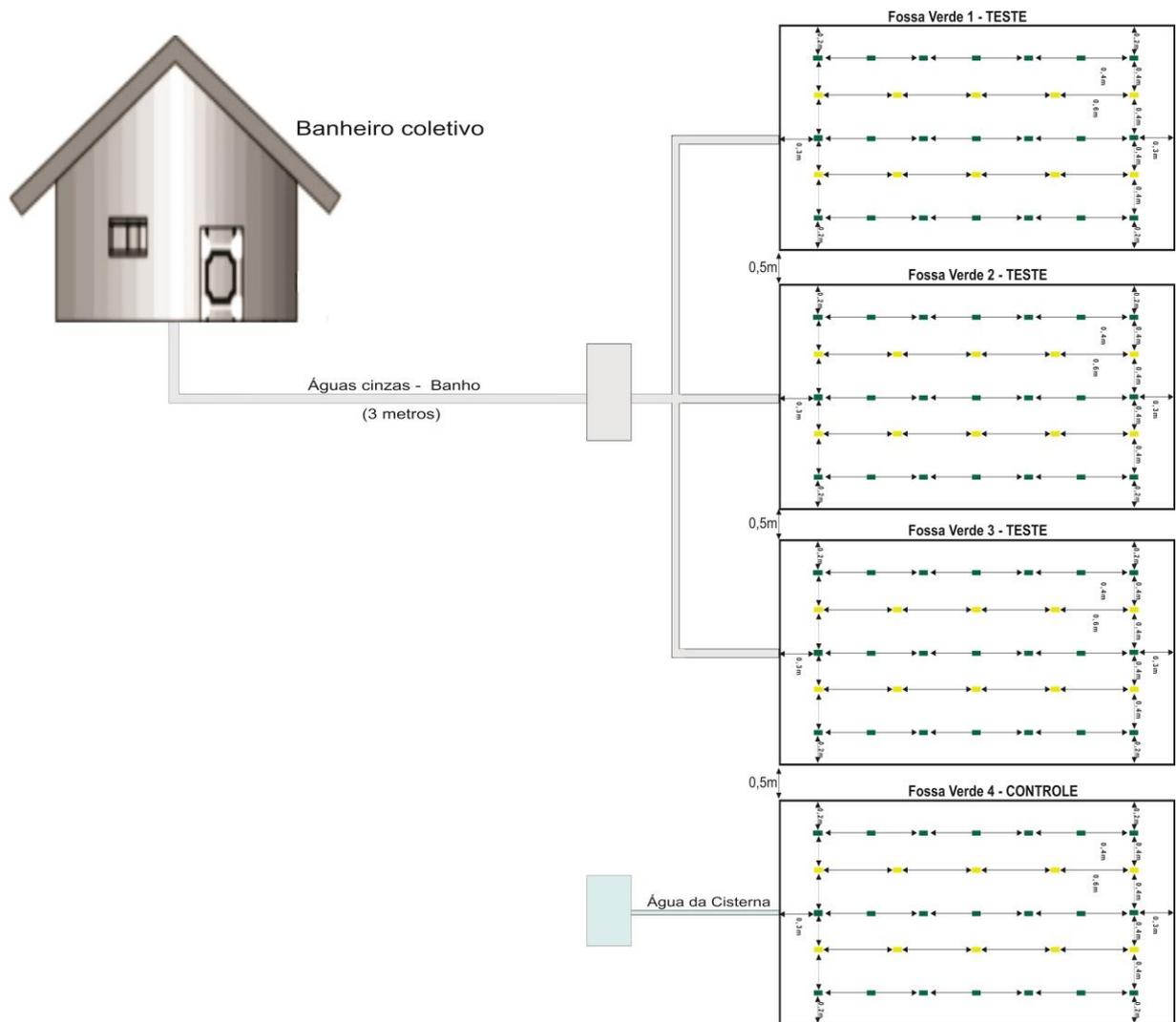
As caixas receptoras de águas cinzas e de águas da cisterna que antecedem as fossas verdes foram dimensionadas considerando-se as vazões de água necessárias para irrigar cada fossa (25 L/dia) e a necessidade de se garantir uma reserva de água para dois dias sem contribuição de águas cinzas, por exemplo nos finais de semana em que algumas famílias se ausentavam de suas residências.

A partir das considerações acima, a caixa receptora das águas cinzas, que abastece as três fossas verde teste, foi dimensionada (0,5m x 0,5m x 0,6m) para possuir uma capacidade de armazenamento de até 150 litros e a caixa receptora das águas da cisterna foi dimensionada (0,3 m x 0,3 m x 0,6 m) para armazenar diariamente até 54 litros. As equações 4 e 5 foram utilizadas para determinar os volumes e as áreas de cada caixa receptora.

$$\text{Volume} = \text{Área} (A) * \text{Altura} (H) \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{Área} = \text{Base} (b) * \text{Largura} (L) \quad \text{Equação 5}$$

As caixas receptoras das águas cinzas foram construídas a 3,0m de distância do banheiro coletivo (Figura 4), a fim de reduzir custos com materiais de construção e evitar problemas operacionais no sistema. A etapa de construção das Fossas Verdes ocorreu no período de 05 a 25 de janeiro de 2015.



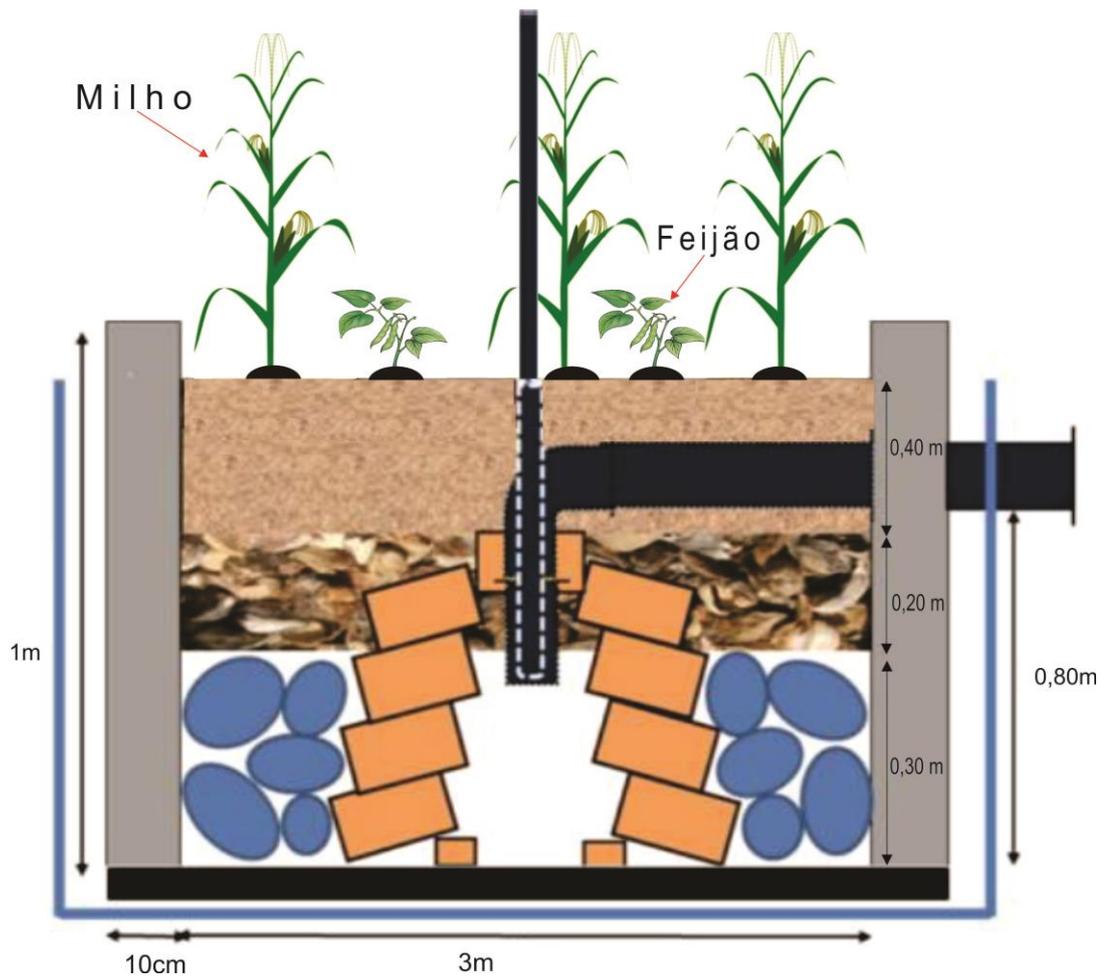
**Figura 4 – Desenho esquemático do sistema experimental constituído pelo banheiro coletivo, três fossas verdes teste e uma fossa verde controle.**

**Fonte: Autoria própria**

Para implantação das quatro unidades de "Fossa Verde" foram construídas quatro valas de alvenaria impermeabilizadas nas dimensões de 3,0m x 2,0m x 1,0m, sendo as três primeiras unidades (Fossa Verde 1, 2 e 3) irrigadas com águas cinzas e a quarta unidade (Fossa Verde 4) irrigada com água da cisterna (Fossa Controle).

O interior de cada fossa apresenta uma estrutura interna de tijolos em forma de pirâmide, de 50 cm de altura, onde os furos dos tijolos ficam inclinados em um ângulo de aproximadamente 30°, conforme recomendado por Galbiati (2009) e Araújo (2012).

As águas cinzas e as águas da cisterna, provenientes das caixas receptoras, ao adentrarem as pirâmides de tijolos, escoam pelos furos para o interior das fossas e fluem, pelos interstícios do meio poroso, em direção a superfície das fossas, irrigando, dessa forma, as plantas de milho e feijão (Figura 5).



**Figura 5 – Desenho esquemático da estrutura Fossa Verde**  
**Fonte: Coelho, 2013 apud adaptado do Arquivo Hidrosed, 2009.**

O meio poroso, utilizado para o preenchimento das fossas até os 50 cm de altura, e que serve como um meio filtrante, foi constituído por uma camada de 30 cm de entulho (restos de tijolos) e outra de 20 cm de cascas de coco secas misturadas com cascas de babaçu (material abundante na área de estudo). Acima do meio poroso foi colocado 40 cm de solo retirado da área de implantação das fossas, antes da construção das mesmas. Ao final, foram cultivadas as mudas de milho e feijão, em consórcio, colocando-se uma pequena quantidade de esterco bovino em torno do caule.

As etapas de construção das fossas estão ilustradas na Figura 6.

A construção das Fossas Verdes foi baseada na metodologia das cisternas de placas, onde os próprios moradores participaram do processo, a fim de reduzir custos e instigar a cooperação entre todos.

A tecnologia social Fossa Verde se enquadra no processo de biorremediação vegetal, na qual, a água e compostos nutricionais provindos do esgoto são reaproveitáveis pelas plantas. A digestão anaeróbica, associada ao canteiro séptico, consome a matéria orgânica proveniente do dejetos domiciliares em conjunto com a ação de microorganismos aeróbicos na zona das raízes das plantas, ao passo que a água é evapotranspirada (COELHO, 2013 apud GABIALTI, 2009; LEGAN, 2007; MANDAI, 2006; PINHEIRO, 2011; PAMPLONA, VENTURINI, 2004).





**Figura 6 – Etapas de construção das Fossas Verdes: (a) e (b) Escavação de valas; (c) Impermeabilização do piso; (d) Fossa totalmente impermeabilizada; (e) Construção da pirâmide de tijolos; (f) Pirâmide totalmente construída; (g) Camadas de entulho (restos de tijolos); (h) Camada de cascas de coco secas e de babaçu; (i) Camada de solo; (j) Caixa receptora de águas cinzas; (k) Caixa receptora de água da cisterna.**

**Fonte: Autoria própria**

### **5.7 Produção das mudas de milho e feijão**

As mudas foram produzidas a partir de sementes crioulas de milho e feijão. Para a realização da semeadura foram confeccionadas 150 sacolas de jornal (material disponível para reutilização), na qual, adicionou-se cerca de 200g de composto orgânico e areia na proporção de 1:1.

Em seguida foram adicionadas 02 (duas) sementes de cada cultivar (Figura 8), devidamente selecionadas, totalizando em 100 (cem) unidades de sacolas para a produção de mudas de milho e 50 (cinquenta) unidades para produzir feijão.

A produção das mudas ocorreu no dia 11 de fevereiro de 2015. Aos quinze dias pós-germinação (26 de fevereiro de 2015), com o surgimento das duas plântulas por saco, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta, sendo escolhida a mais uniforme e bem desenvolvida.

As sementes de feijão nesta etapa não germinaram, e várias seriam as causas observáveis de interferência nesse processo, tais como: o local que foi reservado a sementes após a semeadura deve ter sido exposto, por um maior período, a radiação solar; excesso de água ou o próprio estado fisiológico da semente.

Segundo Moraes (2007), como em qualquer reação química, existe uma temperatura ótima (15 a 30°C) na qual o processo se realiza mais rápida e eficientemente, e quando as temperaturas máxima (35 a 40 °C) e mínima (pode chegar ao ponto de congelamento) são ultrapassadas, a germinação não ocorre.

Quanto ao excesso de água, de acordo com a autora supracitada, em geral, provoca decréscimo na germinação, visto que impede a penetração do oxigênio e reduz todo o processo metabólico resultante do estado fisiológico da semente. Um maior teor de umidade, por excesso de água, pode favorecer ao ataque de patógenos.

Conforme mencionado por Marcos Filho (2005), a qualidade fisiológica das sementes é influenciada diretamente pelo genótipo, sendo máxima por ocasião da maturidade. A partir deste momento, alterações degenerativas começam a ocorrer, de modo que a qualidade fisiológica pode ser mantida ou decrescer, dependendo das condições do ambiente no período que antecede a colheita, dos cuidados durante a colheita, secagem, beneficiamento e das condições de armazenamento.

A produção das mudas para o posterior plantio nas fossas verdes deve-se ao fato das raízes serem de suma importância para o fornecimento de oxigênio dentro da fossa. Este é captado pelas folhas, levado ao caule até as raízes, criando condições de oxidação do meio, possibilitando a decomposição da matéria orgânica (LEME et al 2008 apud VALENTIN 1999; BRIX, 1994).



**Figura 7 – Produção de mudas dos cultivares de milho e feijão: (a) Semeadura do milho; (b) Semeadura de feijão; (c) Sacolas de semeaduras de milho e feijão; (d) Após 15 dias de semeadura do milho.**

**Fonte: Autoria própria**

### 5.7.1 *Plantio*

O preparo do solo é primordial, pois influencia no desenvolvimento das culturas, propiciando uma boa germinação e crescimento da zona radicular das espécies. A limpeza do terreno, executada através da capinação, foi realizada antes e após o cultivo, com frequência quinzenal, sendo esse procedimento de essencial importância para o controle do crescimento de ervas daninhas.

No início da plantação das culturas, colocou-se esterco bovino ao redor dos cultivares, por ser um insumo natural, de baixo custo, com sistema simples de produção e de utilização acessível às condições técnicas e econômicas de pequenos agricultores. Além disso, o esterco bovino promove benefícios na melhoria da fertilidade e conservação do solo.

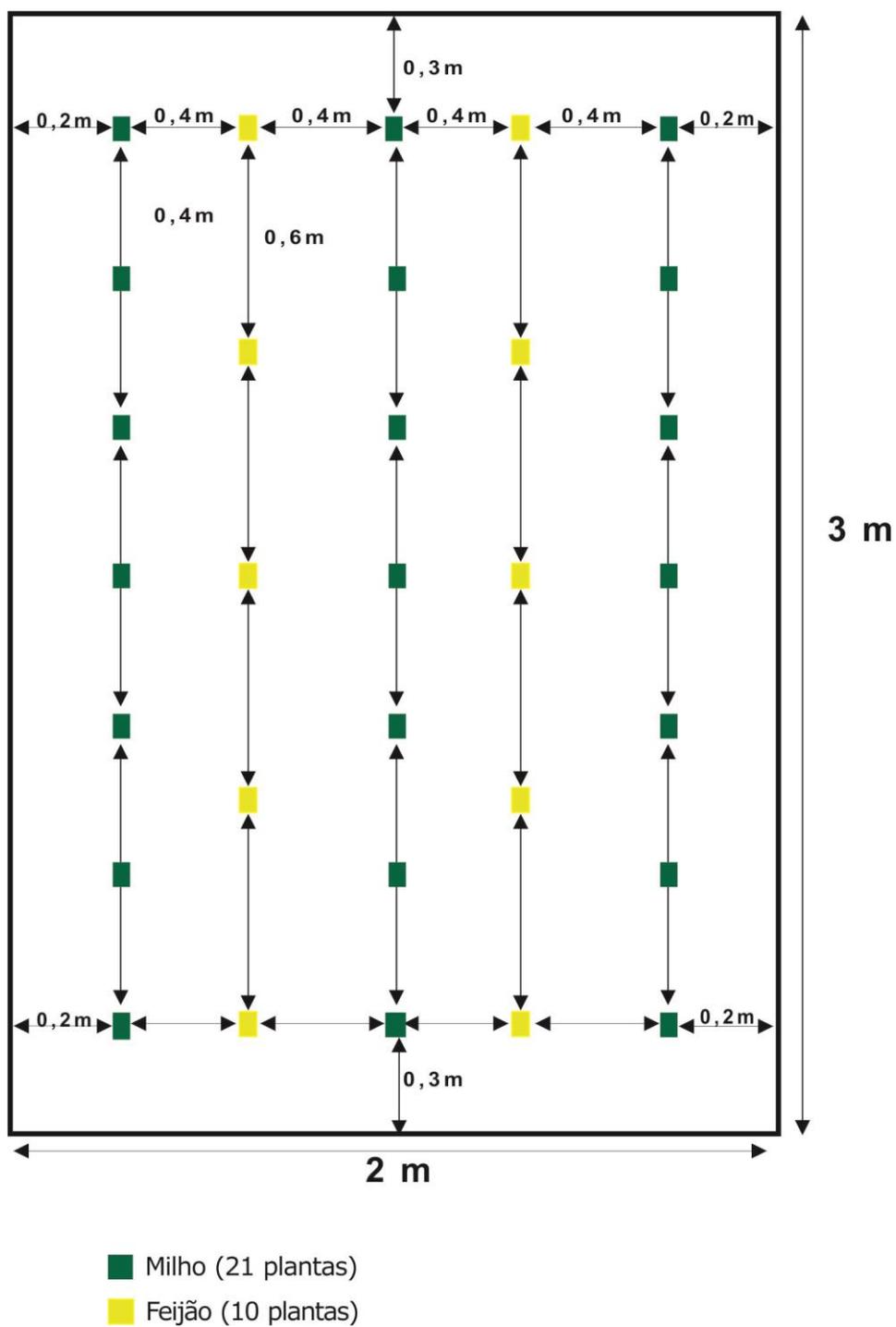
Segundo Coelho (2013), o composto deve ser adicionado em quantidades mínimas nas Fossas Verdes e apenas no início da implantação para a colocação das primeiras mudas, pois o líquido do efluente compostado (substrato) contém nutrientes necessários para o desenvolvimento vegetal.

Antes do plantio, por um período de aproximadamente 30 dias, as Fossas Verdes foram colocadas em funcionamento para permitir que as águas (cinzas e da cisterna) afluentes as fossas atingissem a superfície.

Para a realização do plantio manual dos cultivares, foi utilizado um arranjo espacial de 3:2, ou seja, 03 (três) fileiras de milho e 02 (duas) de feijão, espaçadas de 0,40 m entre as espécies de cultivares, totalizando em 21 plantas de milho e 10 plantas de feijão (conforme Figura 08). Para o milho e o feijão, os espaçamentos utilizados entre fileiras foram de 0,40 m e 0,60 m, respectivamente.

O transplântio das mudas de feijão foi realizado manualmente, retirando da produção do quintal dos moradores contemplados com o experimento e transferindo-as para as unidades de Fossas Verdes.

Foram utilizados espaçamentos entre as bordas das Fossas Verdes e as mudas de 0,20m no comprimento e 0,30m na largura (Figura 08), a fim de impedir interferências no desenvolvimento da zona radicular dos cultivares. As covas foram preparadas com uma profundidade de 5 cm, na qual, colocou-se as mudas de milho e de feijão.



**Figura 8 – Croqui do plantio em consórcio dos cultivares de milho e feijão.**  
 Fonte: Autoria própria

A Figura 9 mostra as etapas do plantio dos cultivares milho e feijão nas fossas teste e na fossa controle.



**Figura 9 – Plantio de cultivares nos módulos Fossas Verdes: (a) Plantio de milho; (b) Espaçamento entre linhas para plantio dos cultivares; (c) Linhas de cultivares de milho (21 plantas) por módulo; (d) Consórcio dos cultivares; (e) Processo de adubação ao final do plantio; (f) Irrigação dos cultivares ao final do plantio.**

**Fonte: Autoria própria**

## 5.8 Caracterização fenológica das plantas

Durante o experimento, foram realizadas avaliações relacionadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas, por intermédio da medição da altura, do diâmetro do caule e número de folhas por planta.

### 5.8.1 Altura da plantas

A altura de planta (cm) foi determinada com uma trena, medindo-se o comprimento desde o colo da planta até a inserção da folha bandeira.

### 5.8.2 *Diâmetro caulinar*

O diâmetro caulinar (mm) foi obtido por meio de um paquímetro, a 1 cm do colo da planta.

### 5.8.3 *Número de folhas*

Nessa etapa foi contabilizada o número de folhas semanalmente, acompanhando os estágios fenológicos da planta.

## **5.9 Produção do milho e feijão por unidades Fossas Verdes**

As amostras de espigas dos milhos e de vagens dos feijões foram colhidas, manualmente, ao final dos ciclos das culturas. Após as colheitas, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises da Faculdade de Tecnologia FATEC Cariri, Juazeiro do Norte – CE, para determinação dos pesos dos grãos do feijão e do milho.

Os principais parâmetros analisados nesta etapa foram: comprimento da espiga (cm), peso dos grãos de milho (g), diâmetro da espiga (cm). Para os feijões executou-se o comprimento da vagem (cm), peso dos grãos do feijão (g) e diâmetro da vagem (cm)

## **5.10 Capacitação da comunidade Minguiriba para implantação e operação das Fossas Verdes**

A mobilização comunitária foi realizada através do apoio da “Associação dos pequenos produtores rurais do Sítio Minguiriba e Adjacências”. As reuniões com os moradores na comunidade Minguiriba foram realizadas no período de fevereiro a março de 2015, em Sede própria situada na localidade. O principal objetivo de realizar a capacitação por meio da educação ambiental foi garantir que os moradores obtivessem o conhecimento das ações quanto à implantação, operacionalização e importância da tecnologia social fossa verde, bem como dialogar sobre as experiências concernentes aos quintais produtivos em suas residências, tendo em vista, que esse é um hábito comum dos moradores, tradicionalmente repassado entre gerações.

### 5.11 Cálculo do Índice de Sustentabilidade

Inicialmente é importante destacar que a metodologia utilizada para o cálculo do Índice de Sustentabilidade, descrita abaixo, foi obtida do trabalho de Sousa (2015), desenvolvido para atender parte dos objetivos dessa dissertação.

Para o cálculo do índice de sustentabilidade usou-se como referência a metodologia de Rabelo & Lima (2007), que é uma adaptação, para comunidades locais, de uma junção de indicadores preexistentes utilizados pelos governos.

Em seguida, foi feita uma análise dos dados para mensuração dos escopos e indicadores que estão disponíveis a serem estudados. Para a pesquisa em questão, foram utilizados quatro escopos: social, econômico, ambiental e institucional.

Para mensurar o tamanho da amostra que representasse a população em estudo, utilizou-se do cálculo do tamanho de amostra para populações finitas, onde a quantidade de dados coletados excede 5% da população. Esse cálculo, segundo Martins (2006), é realizado a partir da equação 6.

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{d^2(N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

N= Tamanho da população;

Z= Abscissa da distribuição normal padrão;

Se o nível for de 95,5%, Z=2.

Se o nível for de 95%, Z=1,96.

Se o nível for de 99%, Z=2,57.

p = Estimativa da verdadeira proporção de um dos níveis da variável escolhida. Será expresso em decimais. De forma convencional admite-se  $p = 0,50$ , gerando assim o maior tamanho de amostra possível.

q = 1-p;

d = Margem de erro, expresso em decimais;

n = Tamanho da amostra aleatória simples a ser retirada da população.

Posteriormente, adotou-se um escore para cada situação sugerida nos indicadores, partindo de escores mais altos para as situações mais favoráveis até os mais baixos para as situações não recomendadas ou de menor recomendação.

De posse dos escopos e indicadores, além dos escores dos indicadores a serem estudados, partiu-se para o cálculo do índice propriamente dito. Para isso foi necessário calcular um índice individual para cada escopo, a partir da equação 7.

$$I_w = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \frac{\sum_{i=1}^m E_{ij}}{\sum_{i=1}^m E_{\max i}} \right] \quad \text{Equação 7}$$

Onde,

$I_w$ : Índice individual de cada escopo;

$E_{ij}$ : Escore do  $i$ -ésimo indicador do  $I_w$  obtido no  $j$ -ésimo entrevistado;

$E_{\max i}$ : Escore máximo do  $i$ -ésimo indicador do  $I_w$ ;

$i$ : Valor que varia de 1 ao número de indicadores ( $m$ );

$j$ : Valor que varia de 1 a ao número de entrevistados ( $n$ );

$w$ : Número do escopo.

Ao se analisar essa equação, percebe-se que o cálculo nada mais é que a relação entre a realidade da população e o que seria a realidade ideal para se alcançar a “sustentabilidade ideal”, onde toda a população teria acesso ao que de melhor existe em cada indicador.

A mensuração dos índices de sustentabilidade foi realizada a partir da equação 8.

$$IS = \frac{1}{k} \sum_{w=1}^k I_w \quad \text{Equação 8}$$

Onde,

$IS$ : Índice de Sustentabilidade;

$K$ : Número de escopos;

$I_w$ : Índice individual de cada escopo;

Do mesmo modo, analisando a equação pode se ver que se trata de uma média aritmética simples dos indicadores individuais dos escopos, mostrando que os mesmos tem a mesma importância no cálculo do índice.

Por fim, os resultados obtidos foram comparados com os da Figura 10 para se determinar o grau de sustentabilidade obtido.

Sustentabilidade excelente	(VERDE)	$\therefore 1 \leq IS \leq 0,800$
Sustentabilidade boa	(AZUL)	$\therefore 0,799 \leq IS \leq 0,650$
Sustentabilidade média	(AMARELO)	$\therefore 0,649 \leq IS \leq 0,500$
Sustentabilidade ruim	(ROSA)	$\therefore 0,499 \leq IS \leq 0,300$
Sustentabilidade crítica	(VERMELHO)	$\therefore 0,299 \leq IS \leq 0,000$

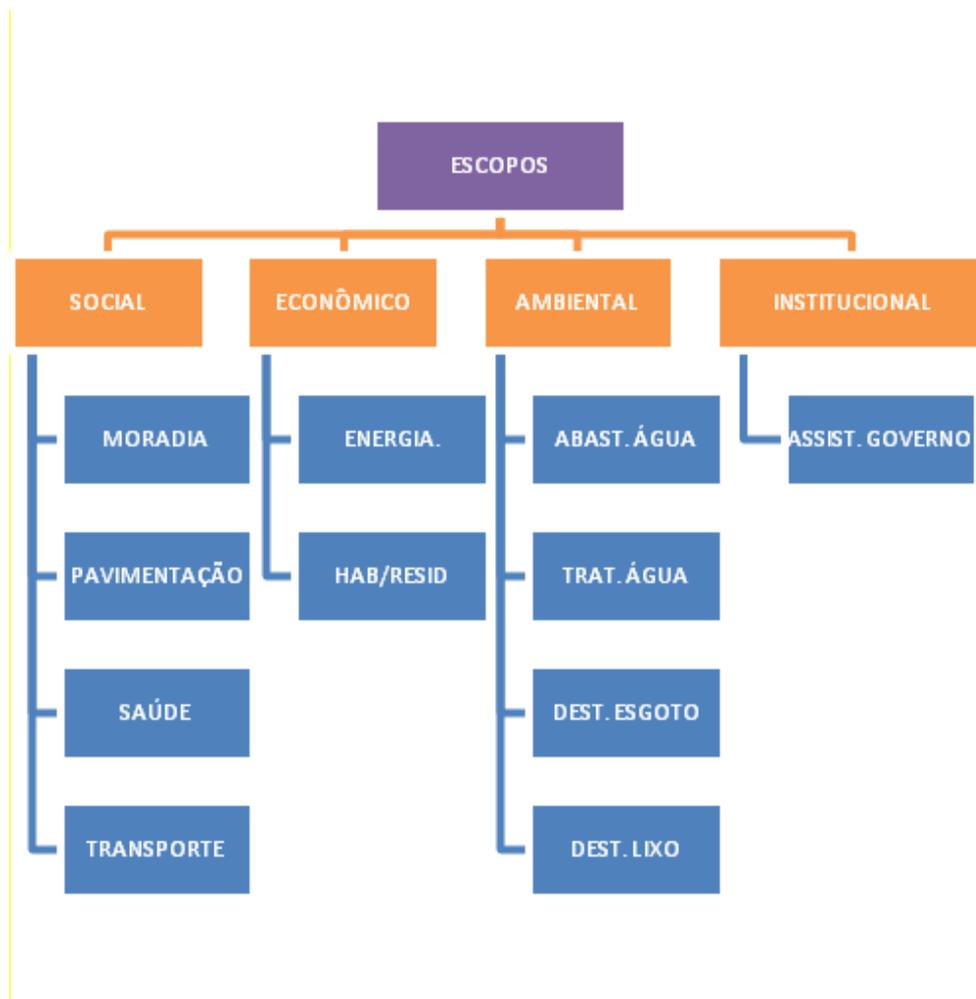
**Figura 10: Graus de Sustentabilidade.**

Fonte: Adaptação de Pereira & Lima (2007) do PNUD/ONU (1998).

A contribuição de cada um dos indicadores na formação do índice de Sustentabilidade das localidades pesquisadas foi obtida da seguinte forma:

$$C = \frac{Iw}{k} \quad \text{Equação 9}$$

A Figura 11 mostra os escopos e indicadores utilizados.



**Figura 11: Escopos e indicadores utilizados para o cálculo do Índice de Sustentabilidade da comunidade rural Minguiriba, Crato, CE.**

Para o indicador moradia, considerou-se se a casa era própria, alugada ou cedida. No que se refere ao tipo de construção o escore máximo foi atribuído para as residências próprias, seguida por alugada e cedida.

Para os indicadores pavimentação, saúde, transporte e energia, foram considerados situações adversas a estas, obtendo-se escores menores.

Quanto à questão ambiental e seus indicadores foi tido como adequado o que recomenda a literatura. Considerou-se como melhor situação o fornecimento de água por meio de cisternas, visto que foram implantadas, na comunidade estudada, várias cisternas de placa para garantir o abastecimento de água em período de estiagem. O fornecimento de água por meio de carro-pipa foi considerado a situação adversa, uma vez que é necessário se pagar pela água fornecida e não se sabe a qualidade dessa água.

Quanto ao quesito tratamento da água, o escore maior foi atribuído aos habitantes que tem acesso a alguma forma de tratamento. Para o esgotamento sanitário, a melhor alternativa foi a que possui rede de esgoto ligada a residência, seguida por fossas e, por último, e não recomendado, disposição de esgoto no solo. Por fim, foi considerado que para os resíduos sólidos, a melhor alternativa era a coleta, pois quando isso não acontece o lixo é enterrado ou queimado, gerando poluição do solo e/ou do ar.

Para o escopo institucional, foi considerado como tendo escore máximo os habitantes que tem alguma ajuda do governo, como forma de complementar a renda, visto que a maioria das pessoas da área rural vive do campo e durante o período de estiagem fica sem nenhuma fonte de renda.

## **5.12 Tratamento estatístico**

Com o objetivo de se estabelecer tendências de comportamento entre os dados obtidos nesta pesquisa, estes foram submetidos a tratamentos estatísticos. Inicialmente foi realizada a estatística descritiva com os resultados obtidos nas amostras de água e de solos analisados. A verificação do grau de dispersão dos dados foi realizada por meio da medida estatística adimensional denominada Coeficiente de Variação (CV). Também foram utilizadas medidas separatrizes na forma de percentis para o consumo per capita de água.

Posteriormente foi realizado o teste de normalidade dos dados, Shapiro-Wilk, devido ao número de amostras realizadas ser menor que cinquenta ( $n < 50$ ). O teste foi realizado com nível de confiança de 95% (significância  $p > 0,05$ ). Em todos os tratamentos estatísticos foi utilizado o software Statistical Package for Social Sciences – SPSS 20.

Após verificar que os dados apresentavam distribuição normal, foi usado o teste de Kruskal-Wallis (não paramétrico).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Consumo per capita de água

Na Chapada do Araripe na vertente Cearense, onde se localiza a área de estudo desta pesquisa, várias comunidades rurais são beneficiadas pelo Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), que tem como objetivo beneficiar cerca de 5 milhões de pessoas em toda região semiárida, com água potável para beber e cozinhar, através das cisternas de placas (ARTICULAÇÃO DO SEMIÁRIDO, 2013; CARVALHO, 2013). Ele propõe uma reforma hídrica que democratize o acesso à água no semiárido, por meio da estocagem de água de chuva para o abastecimento das famílias nos períodos de estiagem, desencadeando, dessa forma, um movimento de articulação e de convivência sustentável com o ecossistema do semiárido.

Nesse aspecto, e considerando a possibilidade de que a implantação da tecnologia social Fossa Verde, objeto de estudo desta pesquisa, somada ao P1MC, possa aumentar a disponibilidade hídrica de comunidades rurais no setor oriental da Chapada do Araripe, contribuindo, assim, para a melhoria da qualidade de vida da população, foi feito um levantamento do consumo per capita de água da comunidade Minguiriba, Crato – CE. Esse levantamento é importante para o dimensionamento das unidades de fossa verde à referida comunidade.

Na área de estudo da presente pesquisa, segundo dados da Floresta Nacional do Araripe (FLONA), em 2015, durante os meses de janeiro a julho (período chuvoso), as precipitações variaram de 23,6 mm/mês em janeiro a 176,70 mm/mês em maio, resultando em volumes de água captados pelas cisternas de 0,84 a 6,31 m<sup>3</sup>, respectivamente. Esses valores correspondem a aproximadamente 5,26 e 39,5% da capacidade volumétrica total das cisternas, que é de 16 m<sup>3</sup>.

Esses dados mostram que ao se considerar que as cisternas C1 e C2 abastecem, em média, 9 e 4 pessoas, respectivamente, o consumo per capita no mês de menor precipitação pluviométrica (janeiro de 2015) deveria ter sido, no máximo, para garantir o suprimento de água ao longo do mês, 3,0 L/hab.d para os usuários de C1 e 6,8 L/hab.d para os usuários de C2. Para o mês de maior precipitação pluviométrica, o consumo per capita máximo deveria ter sido de 22,6 L/hab.d para os usuários de C1 e de 50,8 L/hab.d para os de C2.

O consumo per capita de água no mês de menor precipitação pluviométrica é bastante inferior ao preconizado pelo P1MC para suprir a demanda diária de água potável para beber e cozinhar, que é, de acordo com Passador, (2010), de 14 litros por pessoa. Por essa razão, para suprir a demanda hídrica diária, considerando também os demais usos domésticos (por exemplo, tomar banho e lavar utensílios domésticos), a população da área de estudo complementa o abastecimento das cisternas com água proveniente de carros-pipa.

Com relação a esse aspecto, Amorim e Porto (2001) comentam que o abastecimento das cisternas com carros-pipa, embora possa minimizar o problema da disponibilidade de água, torna-se uma fonte potencial de contaminação por fatores ligados à origem da água, pela vulnerabilidade a qual está exposta durante o transporte, pelas condições de higiene e limpeza dos carros.

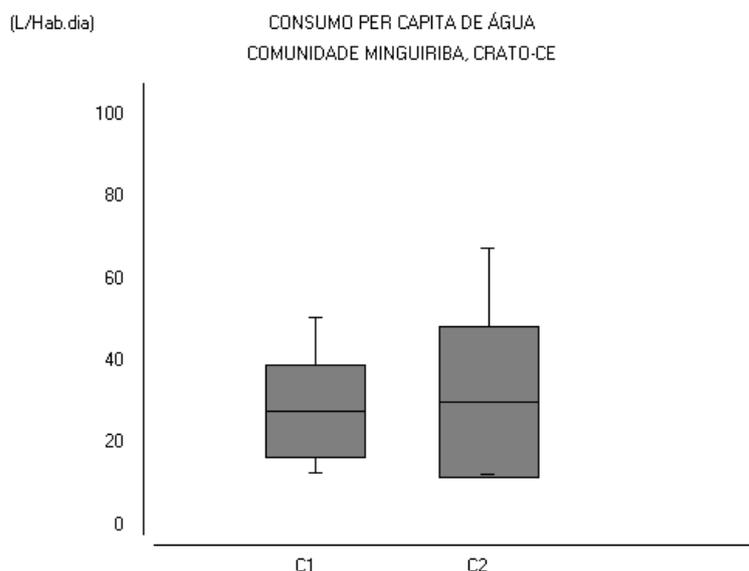
A análise estatística indica uma variação dos resultados obtidos quanto ao consumo per capita dos usuários abastecidos pelas cisternas C1 e C2. Os valores mínimos foram de 12 L/hab.dia em ambas as cisternas, máximos de 50L/hab.dia e 67 L/hab.dia, e medianas de 24,5 L/hab.dia e 24 L/hab.dia, respectivamente. O coeficiente de variação (CV) em C1 foi de 40,94% e em C2 de 62,33 %.

Os coeficientes de variação são classificados em baixos, quando inferiores a 10%; médios, entre 10 e 20%; altos, quando estão entre 20 e 30%; e muito altos, quando são superiores a 30% (FERREIRA 2014; GOMES 2009).

Os valores de CV superiores a 30% verificados nesta pesquisa podem implicar na variação do número de habitantes nas residências abastecidas pelas cisternas C1 e C2, como também aos hábitos em relação aos usos da água.

O terceiro quartil mostrou que 75% dos usuários de C1 consomem cerca de 33 L/hab.dia, enquanto que em C2 obteve um consumo maior de 38,75 L/hab.dia, no período chuvoso.

**Gráfico 1 – Boxplots valores máximos, mínimos, medianos e quartis do consumo per capita dos usuários que são abastecidos pelas cisternas (C1 e C2) na área experimental, comunidade Minguiriba, Crato - CE.**



**Fonte: Pesquisa direta**

Ao comparar os resultados obtidos com o porte da comunidade dispostos na Tabela 5, é possível verificar que os habitantes da comunidade Minguiriba, considerada como povoado rural, com faixa populacional menor que 5.000 habitantes, obtenham um consumo per capita menor que o mínimo estabelecido (90 L/hab.dia).

**Tabela 5 – Consumo per capita x porte da comunidade**

Porte da comunidade	Faixa da população (hab)	Consumo per capita (L/hab.dia)
Povoado rural	< 5.000	90 – 140
Vila	5.000 – 10.000	100 – 160
Pequena localidade	10.000 – 50.000	110 – 180
Cidade média	50.000 – 250.000	120 – 220
Cidade grande	> 250.000	150 - 300

**Fonte: Adaptado de CETESB (1977;1978), Barnes et al (1981), Dahlhaus&Damrath (1982), Hosang&Bischof (1984) apud Von Sperling (1996)**

## 6.2 Índice de Sustentabilidade (IS) da comunidade Minguiriba

A partir do cálculo do índice de sustentabilidade constatou-se que a situação da comunidade Minguiriba é bastante preocupante, uma vez que foram verificados baixos valores para os indicadores dos escopos social (0,37), econômico (0,59), ambiental (0,43) e institucional (0,410), resultando em um IS de 0,45, considerado, de acordo com a classificação de Martins (2006), como ruim.

Dentre os escopos avaliados, o social foi o que apresentou a pior situação, indicando precárias condições de assistência dos serviços públicos à população.

Com relação ao Saneamento Rural, representado pelo escopo ambiental, verifica-se que a situação também é ruim. Essa situação decorre dos serviços de abastecimento e tratamento de água, coleta de esgotos e coleta e disposição adequada de resíduos sólidos serem, na maioria dos casos, inexistentes, comprometendo, sem dúvida, a saúde da população da área estudada.

O índice do escopo institucional, por ter sido muito baixo, reflete a ausência de políticas públicas adequadas voltadas para a comunidade estudada, relacionada, inclusive, com os programas assistenciais Bolsa Família, Bolsa Verde, Bolsa Reclusão e Bolsa PRONATEC. Foi verificado também que muitas famílias, por dependerem da agricultura, inexistente em períodos de estiagem, ficam com sua principal fonte de renda comprometida, o que afeta diretamente o atendimento das suas necessidades básicas.

Sobre esse aspecto é importante salientar que as tecnologias sociais do governo federal, que fazem parte do Programa Água para Todos, voltadas para a captação e armazenamento de água para consumo e para a produção de alimentos na região do semiárido brasileiro, não está contribuindo satisfatoriamente à melhoria da qualidade de vida da população da área de estudo desta pesquisa, em função das baixas precipitações pluviométricas verificadas nessa área, que compromete a eficácia do Programa.

Conforme discutido no item 6.1 (Consumo per capita de água), as precipitações pluviométricas mensais na comunidade Minguiriba, determinadas em 2015, no período chuvoso, associadas as áreas de captação de água de chuva das residências da referida comunidade, possibilitaram que a captação de volumes de água das cisternas de placa atingissem mensalmente, apenas, entre 5,3 a 40% da capacidade volumétrica total das cisternas. Carvalho (2013), ao determinar as precipitações pluviométricas mensais, na mesma área de estudo desta pesquisa, também verificou valores baixos, que variaram entre 22 e 220 mm entre os meses de janeiro a maio.

Com relação as cisternas calçadão, concebidas para atender a demanda hídrica da agricultura, os agricultores da área estudada afirmaram, durante a pesquisa, não utilizá-las, uma vez que a escassez de chuva impede que seja armazenada água nas mesmas.

Ante o exposto, pode-se depreender que a baixa eficácia das tecnologias sociais aplicadas na área de estudo é reflexo de políticas públicas que desconhecem (ou negligenciam) as reais condições da comunidade.

Esse quadro torna clara a necessidade de se empreender estudos em comunidades rurais para permitir que as intervenções públicas sejam pautadas pelas reais necessidades da população. A utilização de indicadores de sustentabilidade nas comunidades rurais representa, então, uma importante ferramenta para a obtenção de informações que possam subsidiar ações governamentais que promovam a redução da segregação social, contribuindo com a diminuição das desigualdades.

### **6.3 Caracterização Físico-química da água cinza e água da cisterna, Comunidade Minguiriba**

As características físicas e químicas das águas cinzas são influenciadas pela qualidade da água de abastecimento, podem variar de local para local, onde os estilos de vida, os costumes, as instalações e a utilização de produtos químicos são determinantes para qualidade da água (MAY, 2009; NSW Health 2002).

A qualidade das águas cinzas podem variar também dependendo do ponto de coleta em que a mesma está sendo utilizada como por exemplo lavatório, chuveiro, máquina de lavar roupas.

Para que águas residuárias possam ser utilizadas na prática de reuso é necessário adequar suas características à qualidade compatível com os usos pretendidos, o que é feito por meio da utilização de operações e processos unitários de tratamento que sejam capazes de remover os contaminantes presentes. Contudo, ainda não existe no Brasil uma legislação específica para água de reuso (POMPEO, 2007).

Segundo Santos (2009), Mota, Aquino e Santos (2007), a água de reuso para irrigação deve atender a determinados critérios que visem a proteção e a preservação da qualidade das culturas e dos níveis de produção, a preservação do solo agrícola e a proteção da saúde do consumidor.

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 1989) apud Santos (2009), Hespanhol (2001) propõe regulações e faz recomendações relativas a assuntos internacionais de saúde pública e de saúde ambiental, estabelecendo diretrizes para a reutilização de esgotos tratados.

Os valores máximos (MAX), médios ( $\bar{X}$ ), mínimos (MIN) e Coeficiente de Variação (CV%) das variáveis determinadas durante a caracterização física - das águas cinzas e da água da cisterna utilizadas na etapa experimental, para abastecer as fossas verdes e realizar a irrigação dos plantios considerados como Testes e Controle, estão apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

**Tabela 6 – Estatística descritiva dos resultados das variáveis físico-químicas analisadas em amostras de águas cinzas produzidas na atividade de banho na Comunidade Minguiriba, Crato-CE.**

Variáveis	Máximo	$\bar{X}$	Mínimo	CV (%)
<b>FÍSICO-QUÍMICAS</b>				
Cálcio (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	38,00	33,33	30,00	9,03
Cloretos (mg/l)	267,78	178,44	112,62	40,45
Condutividade Elétrica (µS/cm)	2.400,00	1.431,25	792,10	49,66
Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	76,00	66,33	50,00	8,82
Nitrato (mgN-NO <sub>3</sub> /L)	3,95	1,74	0,63	77,00
Potássio (mg/L)	122,00	55,66	20,00	83,80
Potencial Hidrogeniônico (PH)	9,24	8,11	7,50	7,29
Razão de Adsorção de Sódio (RAS)	9,45	7,73	5,32	17,44
Sódio (mg/L)	162,00	130,33	89,00	18,37
Sólidos Suspensos (mg/L)	288,00	235,00	177,00	19,28
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	2.122,00	1.469,33	998,00	34,30

**Fonte: Pesquisa direta**

**Tabela 7 – Estatística descritiva dos resultados das variáveis analisadas obtidos na água da cisterna C2 da comunidade Minguiriba, Crato-CE.**

Variáveis	Máximo	$\bar{X}$	Mínimo	CV (%)
<b>FÍSICO-QUÍMICAS</b>				
Cálcio (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	24,00	14,79	10,00	30,62
Cloretos (mg/l)	32,00	26,63	24,00	13,25
Condutividade Elétrica (μS/cm)	72,35	61,10	50,75	16,29
Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	25,00	21,17	20,00	9,17
Nitrato (mgN-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	1,01	0,80	0,59	27,97
Potássio (mg/L)	00,00	0,00	0,00	0,00
Potencial Hidrogeniônico (PH)	7,72	6,92	6,00	8,27
Razão de Adsorção de Sódio (RAS)	0,17	0,13	0,05	35,07
Sódio (mg/L)	2,00	1,43	0,00	61,24
Sólidos Suspensos (mg/L)	11,00	9,16	8,00	10,73
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	70,00	50,16	33,00	31,63

**Fonte: Pesquisa direta**

### ***Cloretos (Cl)***

Os cloretos variaram de 112,62 a 267,78mg/L (Tabela 6), com um CV de 40,45%, nas águas cinzas, e de 24,00 a 32,00 mg/L, com CV de 13,25%, nas águas das cisternas (Tabela 7).

Diante dos resultados de CV nas águas cinzas, verifica-se média dispersão dos dados, justificada pela dissolução de sais provindos dos sabões usados no banho, juntamente com partículas de poeira oriundas do terreno da própria comunidade em estudo.

Ao se comparar as concentrações de cloretos obtidas nas águas cinzas com as das águas da cisterna, verifica-se uma elevação nos resultados. De acordo com Mancuso e Santos (2003), concentrações de cloretos acima de 100 mg/L causa problemas de adsorção foliar, podendo em concentrações acima de 350 mg/l acarretar problemas

graves para as plantas. Por essa razão, é importante ressaltar que o uso das águas cinzas poderá causar aos cultivares plantados nas fossas verdes, riscos na produção.

### ***Condutividade elétrica (CE)***

Nas águas cinzas foram obtidos valores de CE entre 792,10 e 2.400,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com CV de 49,66% (Tabela 3). Nas águas da cisterna (Tabela 4), a variação foi de 50,75 a 72,35  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com um CV de 16,29%.

Os elevados valores de CE obtidos nas águas cinzas, quando comparados com os obtidos nas águas da cisterna, deve-se ao fato de que nas águas cinzas as concentrações de íons em solução é maior, devido a uma quantidade significativa de poeira na água do banho, bem como o uso de produtos químicos.

Segundo Ferreira (2013), a condutividade elétrica em águas, seja ela cinza ou negra, expressa a concentração de íons presentes, ou, mais precisamente, de íons em solução. Almeida (2010) menciona que quanto maior for o conteúdo salino de uma solução, maior será a CE da mesma.

De acordo com a classificação da Embrapa (2001), quanto a CE, para águas destinadas à irrigação, as águas cinzas se enquadram na classe C3 (água com alta salinidade, com conteúdo de sais de 700 a 2.250 micromhos/cm) e C4 (água com salinidade muito alta, com mais de 2.250 micromhos/cm).

Ressalta-se que águas da classe C3 não podem ser usadas em solos com drenagem deficiente e, mesmo com drenagem adequada, podem ser necessárias práticas especiais para controle de salinidade e só deve ser aplicada para irrigação de plantas tolerantes aos sais. As águas de classe C4 não podem ser usadas em condições normais, apenas ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais, tais como em solos muito permeáveis e plantas altamente tolerantes aos sais (EMBRAPA, 2001).

O conteúdo excessivo de sais na água de irrigação pode provocar problemas de toxicidade nas colheitas devido a alguns íons (boro e sódio) reduzindo a taxa de infiltração (SANTOS, 2009).

De acordo com Paiva (2014), a cultura do feijão-caupi, de maneira geral, é classificado como moderadamente tolerante por possuir um limiar de saturação do solo em torno de 4,9 dS  $\text{m}^{-1}$ . No entanto, Ayers e Westcot (1999) afirmam que o feijão de corda tolera condutividade elétrica da água (CE) de até 3,3 dS  $\text{m}^{-1}$ , indicando que este limiar varia de acordo com a cultivar (DANTAS et al, 2002).

BLANCO et al. (2003) verificaram que a emergência do milho foi afetada quando a salinidade da água de irrigação (CEa) era superior a 1,65 dS m<sup>-1</sup>, mas a produção de matéria seca das plântulas só foi afetado para CEa acima de 3,08 dS m<sup>-1</sup>

### ***Dureza total***

Para a Dureza total foram obtidos valores de 50,00 a 76,00 mgCaCO<sub>3</sub>/L e CV de 8,82%. Enquanto na água da cisterna a variação foi de 20,00 a 25,00 mgCaCO<sub>3</sub>/L e CV de 9,17%. Nas duas situações, as dispersões dos dados foram consideradas baixas.

A dureza é geralmente definida como a soma de cátions polivalentes presentes na água e é expressa em termos de uma quantidade equivalente de CaCO<sub>3</sub>. Os principais íons metálicos que conferem dureza à água são o cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e o magnésio (Mg<sup>2+</sup>), quase sempre associados ao íon sulfato e, em menor grau, o íon ferro (Fe<sup>2+</sup>, associado ao nitrato), o manganês (Mn<sup>2+</sup>, associado ao nitrato) e o estrôncio (Sr<sup>2+</sup>, associado ao cloreto) (DI BERNARDO *et al.*, 2011).

Contudo o aumento significativo da Dureza total em águas podem afetar a disponibilidade de macro e micronutrientes na forma de íons na solução do solo, interferindo no balanceamento dos íons e na transferências dos elétrons, podendo causar danos ao desenvolvimento das plantas (SFREDO,2003).

### ***Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)***

Os valores mínimos e máximos de nitrato nas águas cinzas foram iguais a 0,63mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L e 3,95mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, com CV de 77,00%. Esta elevada dispersão dos dados pode ser atribuída a uma grande variabilidade dos teores de oxigênio nas águas cinzas. O oxigênio é responsável pelo processo de oxidação do nitrogênio amoniacal em nitrato (nitrificação).

O contaminante inorgânico de maior preocupação em águas subterrâneas é o íon nitrato, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que normalmente ocorre em aquíferos de zonas rurais e suburbanas. O nitrato em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011).

Uma preocupação recente trata do aumento dos níveis de íon nitrato na água potável, particularmente em água de poços em localidades rurais, sendo a principal fonte deste nitrato a lixiviação de terras cultivadas para os rios e fluxos de água.

O excesso de íon nitrato em água potável é preocupante por causar em recém-nascidos a síndrome do bebê azul; e em adultos, conforme pesquisas, pode ser responsável por causar câncer de estômago, e aumentar a probabilidade de câncer de mama em mulheres (BAIRD; CANN, 2011).

O nitrogênio é um importante elemento nas reações biológicas. Ele pode estar ligado a componentes que produzem muita energia, como aminoácidos e aminas, e nessas formas, o nitrogênio é conhecido como nitrogênio orgânico. Um dos elementos intermediários formados durante o metabolismo biológico é o nitrogênio amoniacal. Com o nitrogênio orgânico, o amoniacal é considerado um indicador de poluição recente. A decomposição aeróbia finalmente leva à conversão de nitrogênio em nitrito e depois em nitrato. Nitrogênio com alto teor de nitrato e com baixo teor de amônia sugere que a poluição aconteceu há mais tempo (VESILIND; MORGAN, 2013).

A localidade em estudo, área rural, possui um alto aporte de nitrogênio, devido a interferência de pessoas e animais. Os solos da comunidade Minguiriba, em particular na localidade onde foram realizados os experimentos, possuem uma quantidade significativa de resíduos fecais advindas de animais de aves, suínos e até pessoas.

Para absorver o nitrato do solo, este deve estar diluído em água, como nem sempre as condições do solo são favoráveis a absorção, as plantas desenvolveram um mecanismo de reserva de substâncias necessárias a sua sobrevivência, em relação aos compostos nitrogenados, não é diferente. Nas condições ambientais favoráveis a planta absorve nitrato em quantidades maiores que a sua capacidade de processamento, este excesso de nitrato é então armazenado nos vacúolos para posterior utilização (TAIZ & ZIEGER, 2009)

### ***Potássio ( $K^+$ )***

O potássio nas águas cinzas variou entre 20,00 mg/L e 122 mg/L, com um CV de 83,80%. Essa alta dispersão dos dados foi ocasionada pela variação dos volumes de água utilizados nos banhos, decorrentes da presença de horários de pico. As elevadas concentrações de potássio estão associadas ao fato das águas cinzas se constituírem numa rica fonte de matéria orgânica e de nutrientes minerais.

Na água da cisterna as concentrações de potássio foram nulas. Esse resultado pode ser explicado pelas reações químicas entre este elemento químico e os materiais por onde a água escoar. De acordo com Pádua (2005), o potássio, nas águas naturais, se apresenta em menor concentração porque, na erosão dos silicatos alcalinos, uma parte fica retida na solução iônica e a outra pode ser absorvida pelas argilas ou formar micas juntamente com o alumínio. A vegetação também é responsável pela absorção de grande quantidade de potássio no solo (Pádua, 2005). As águas das cisternas da localidade em estudo, em sua maioria, são complementadas com águas de fontes comercializadas por carros-pipas.

### ***Potencial hidrogeniônico (pH)***

Quanto ao PH nas águas cinzas, o valor mínimo foi de 7,50 e máximo de 9,24, com um CV de 7,29%. Para as águas da cisterna, a variação foi de 6,00 a 7,72 com um CV de 8,27%.

Segundo Mancuso & Santos (2003), águas de irrigação devem possuir pH entre 5,0 e 7,0, uma vez que, acima dessa faixa, aumenta a disponibilidade de íons tóxicos nas plantas, como o cloreto, o sódio, e o boro, onde os danos às culturas e ao solo podem ser provocados individualmente ou em combinação destes íons.

### ***Razão de Adsorção de Sódio (RAS)***

Elevadas concentrações de sódio na água de irrigação podem causar danos adversos à estrutura do solo, causando deterioração na estrutura do mesmo, resultando em uma redução de infiltração da água. O grau com o qual o sódio é absorvido pelo solo é uma função da proporção de sódio e de cátions bivalentes (Ca e Mg).

De acordo com Reichardt (1990) apud Lima (2004)<sup>1</sup>, concentração elevada pode causar um elevado risco na redução de permeabilidade da água no solo, provocando desequilíbrio do Na com relação ao Ca e Mg, que também têm efeitos nutricionais. Ressalta-se ainda que valores de CE e RAS são interdependentes. Em geral, efluentes

com condutividade menor que 1 mS/cm, a 20 °C, e RAS menor que 15, são satisfatórios na maioria das culturas (SANTOS, 2009; SILVA & MARA, 1979).

Nesta pesquisa, obteve-se valores de RAS, nas águas cinzas, de 5,32 meq/L a 9,45 meq/L com CV de 17,44%. Quanto a água da cisterna, a variação foi de 0,05 meq/L a 0,17 meq/L com CV de 35,07%. Diante desses resultados, infere-se que as águas cinzas e as águas da cisterna C2, quanto a RAS, são adequadas para reuso na agricultura.

### **Sódio ( $Na^+$ )**

Para o sódio, os valores médios nas águas cinzas variaram de de 89,00 mg/L a 162,00 mg/L com CV de 18,37%. Na água da cisterna, a variação foi de 0,00 mg/L a 2,00 mg/L com um CV de 61,24 %.

Segundo Mancuso e Santos (2003) e Santos (2009) o limite recomendado para o sódio é de 70 mg/L, então concentrações superiores a este valor pode acarretar à planta razão de adsorção foliar e também queimaduras nas folhas. Diferente do tratamento com água da cisterna com média de (8,96) estando de acordo com limites permissível.

Os níveis de cálcio e magnésio no efluente são frequentemente similares aqueles encontrados na água natural usada na irrigação. A presença de cálcio e magnésio na água de irrigação diminui os valores de RAS; conseqüentemente, a qualidade da água melhora. Além disso, já que o cálcio e o magnésio são nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, o seu suprimento em solos ácidos, é benéfico para uma melhor produção das colheitas FEIGIN (1991) apud SANTIAGO (1999)

Quanto ao cálcio as concentrações nas amostras de águas cinzas variaram de 30 mgCaCO<sub>3</sub>/L a 38 mgCaCO<sub>3</sub>/L, apresentando um CV de 9,03%, significando uma homogeneidade nos dados. Na água da cisterna, os valores de cálcio obtidos foram de 30 mgCaCO<sub>3</sub>/L a 24 mgCaCO<sub>3</sub>/L, com um CV de 30,62 %, sendo classificado como alto, devido a dispersão dos dados (heterogeneidade).

Os resultados obtidos para o magnésio nas águas cinzas foram de 0,20 meq/L a 0,44 meq/L, com CV de 23,32 %. Nas águas das cisternas, as concentrações variaram de 0,02 meq/L a 0,12 meq/L obtendo um CV de 46,67%.

A presença de cálcio e magnésio na água de irrigação diminui os valores de RAS; conseqüentemente, a qualidade da água melhora. Além disso, já que o cálcio e o magnésio são nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, o seu suprimento em

solos ácidos, é benéfico para uma melhor produção das colheitas (SANTOS 2009; SANTIAGO 1999; FEIGIN,1991).

### ***Sólidos Suspensos (SS)***

Para os sólidos suspensos nas águas cinzas os valores variaram de 177,00 mg/L a 288,00 mg/L com um CV de 19,28%. Em águas da cisterna os valores obtidos variaram de 8,00 mg/L a 11,00 mg/L com CV de 10,73%.

Observa-se que diante dos resultados obtidos que as águas cinzas ultrapassaram o limite de sólidos suspensos para irrigação que é no máximo de 30mg/L.

Em geral, o material suspenso pode causar colmatção do solo ou, em práticas de irrigação por aspersão, pode causar entupimento dos aspersores, tubulações de gotejamento (SANTOS, 2009; MANCUSO E SANTOS, 2003).

### ***Sólidos Totais Dissolvidos (STD)***

Quanto aos sólidos totais dissolvidos, a variação obtida para águas cinzas foi de 998,00 mg/L a 2.122,00 mg/L e CV de 34,30%. Nas águas da cisterna, os resultados variaram de 33,00 mg/L a 70,00 mg/L (com um CV de 31,63).

De acordo com Mancuso & Santos (2003) os componentes considerados importantes em águas de reúso para irrigação agrícola, levando em conta seus efeitos sobre as plantas, são a salinidade, as substâncias tóxicas, o sódio, o cloro e os nutrientes.

Os resultados obtidos por esses autores ressaltam que sais dissolvidos podem resultar na redução da pressão osmótica do solo (em decorrência do aumento da toxicidade de íons específicos), diminuindo a absorção de água e nutrientes pela planta e contribuindo para a degradação das características físicas do solo. Sendo que recomendam um valor máximo de 500 mg/L de STD em águas de reúso para irrigação agrícola. Entre 500 a 1000 mg/l, os STD em águas de irrigação podem afetar muitas plantas. Acima de 2000 mg/l a água somente pode ser usada de forma regular para plantas tolerantes em solos permeáveis.

### ***Teste de Kruskall Wallis aplicado aos dados físico-químicos das águas cinzas e das águas da cisterna***

Na Tabela 8 consta os resultados do teste de Kruskall Wallis aplicado aos dados da caracterização físico-química das águas cinzas e das águas das cisternas. A análise dessa tabela mostra que foram verificadas diferenças significativas, para p-valor < 0,05, entre as medianas das concentrações de sódio e de potássio. Essa diferença é proveniente do aporte diário de sódio e potássio nas águas cinzas, uma vez que os sabonetes e sabões utilizados pelos usuários do banheiro coletivo possuem esses cátions em suas formulações químicas.

Tabela 8 – Resultados do teste de Kruskall Wallis aplicado aos dados da caracterização físico-química das águas cinzas e das águas das cisternas.

<b>Variáveis</b>	<b>p-valor</b>
pH 1/ pH 2	ns
CE 1/ CE2	ns
Cl <sup>-</sup> 1/ Cl <sup>-</sup> 2	ns
Dureza 1/Dureza 2	ns
Ca <sup>2+</sup> 1/ Ca <sup>2+</sup> 2	ns
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 1/ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 2	ns
SS 1/ SS 2	ns
STD 1/ STD 2	ns
Na <sup>2+</sup> 1/ Na <sup>2+</sup> 2	< 0,05
K <sup>+</sup> 1/ K <sup>+</sup> 2	< 0,05
RAS 1/RAS 2	ns

**1: Caracterização físico-química das águas da cisterna.**

**2: Caracterização físico-química das águas cinzas**

#### **6.4 Análises bacteriológicas da água cinza e água da cisterna**

As análises da qualidade da água cinza e da água da cisterna, foram determinadas através das concentrações de bactérias indicadoras de contaminação para água destinada ao consumo humano, são elas, Coliformes totais e Coliformes termotolerantes.

Os dados da Tabela 9 foram interpretados de acordo com a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde no caso da água da cisterna, a qual permite, para soluções

alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes, resultado positivo para Coliformes Totais em apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês.

Para as águas cinzas as discussões seguiram os limites recomendados para irrigação de culturas da Organização Mundial de Saúde (WHO, 1989) e portaria 357/2005 da Resolução CONAMA que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Tabela 9 apresentam resultados obtidos (média geométrica - MG, valor mínimo - Min e valor máximo - Max) das variáveis provenientes da água da cisterna e da água cinza que abastecem as unidades fossas verdes.

**Tabela 9 – Estatística descritiva dos resultados bacteriológicos obtidos na água da cisterna e água cinza, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.**

Estatística	Coliformes Totais (NMP/100 ml)		Coliformes Termo (NMP/100 ml)	
	Água da cisterna	Água cinza	Água da cisterna	Água cinza
<b>Min</b>	3,30E+01	4,60E+05	1,10E+01	1,10E+05
<b>Max</b>	1,60E+03	3,50E+07	3,50E+01	2,30E+07
<b>MG</b>	1,33E+02	2,01E+06	6,80E+01	5,52E+05
$\sigma$	5,00E+00	7,19E+00	4,00E+00	1,10E+01

Fonte: Pesquisa direta

Segundo pesquisa realizada por Carvalho (2013) na Comunidade Minguiriba, para verificação da qualidade sanitária de amostras de águas das cisternas, foi detectado uma densidade de Coliformes Totais de 1,60E+04 NMP/100 ml a 3,30E+04 NMP/100 ml e Coliformes termotolerantes variando de 9,00E+00 NMP/100 ml a 1,60E+03 NMP/100 ml, na cisterna C10 (210.830), denominada de C2 no presente estudo.

Analisando os resultados supracitados e comparando com a Tabela 9, observa-se que os valores mínimos e máximos encontrados foram inferiores aos de Carvalho (2013). Essa diferença pode ser explicada devido às coletas das amostras serem realizadas apenas no período chuvoso, por causa do acompanhamento do primeiro ciclo das culturas do milho e feijão nas unidades fossas verdes.

Ainda sobre esse aspecto, no período chuvoso do corrente ano, as cisternas não supriram a demanda de água necessária para atender as diversas necessidades das

famílias constituídas por mais de 5 membros, havendo a necessidade de complemento por carros-pipas.

Porém, deve-se ressaltar que além da origem da água transportada por carros-pipa ser desconhecida, as condições higiênico-sanitárias destes carros são precárias. (CARVALHO, 2013).

Nesse sentido, é importante salientar que para o caso de reuso agrícola os valores encontrados nas águas das cisternas se enquadram de acordo com Resolução CONAMA Nº 357/2005 como classe 3, na qual estabelece valores para irrigação de 1.000 a 4.000 NMP de coliformes termotolerantes por 100 mL, não são permitidas para a irrigação de qualquer tipo de hortaliça ou fruteira, mas somente para plantas arbóreas, culturas cerealíferas (feijão, milho, trigo, por exemplo) e forrageiras.

Com relação à qualidade bacteriológica da água cinza, essas não atingiram os padrões recomendados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 1989) sendo para CF os limites recomendados para irrigação de culturas é  $\leq 1000$  NMP/100 ml. Porém, deve ser considerado que a presença de CF indica um risco potencial da existência de microrganismos patogênicos, o que colocaria em risco o grupo exposto constituído por agricultores.

Em geral, a sobrevivência de bactérias patogênicas no solo depende de alguns fatores tais como: umidade, pH, radiação solar, temperatura, concentração de matéria orgânica e predação por outros microorganismos (Chernicharo, 1997). Segundo León Suematsu e Cavallini (1999), os microorganismos podem sobreviver por períodos mais longos no solo do que nas superfícies das culturas, em consequência da menor exposição aos raios solares.

## **6.5 Caracterização das amostras de solo das fossas verdes**

Nas Tabelas 10 e 11 constam os resultados das análises de fertilidade de amostras de solo coletadas no período chuvoso nas fossas verdes instaladas na comunidade Minguiriba, Crato, CE.

**Tabela 10 – Estatística descritiva dos resultados das variáveis de fertilidade de amostras de solo, Comunidade Minguiriba, Crato-CE**

	pH	CE	MO	Al <sup>3+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	H+Al	CTC	V (%)
	-	(dS/m)	(d/cm <sup>3</sup> )	(mmolc/dm <sup>3</sup> )	(mg/Kg)	(mmolc/dm <sup>3</sup> )			
<b>S</b>	5,10	0,14	29,00	6,00	63,70	9,00	25,00	43,30	42,30
<b>F1</b>	5,60	0,10	20,00	1,00	19,70	21,00	22,00	46,70	52,90
<b>F2</b>	5,70	0,90	17,00	2,00	44,20	20,00	22,00	45,10	51,20
<b>F3</b>	5,60	0,08	17,00	4,00	32,80	18,00	22,00	33,40	34,30
<b>F4</b>	5,50	0,05	13,00	3,00	21,10	10,00	13,00	28,10	53,70

pH – Potencial hidrogeniônico; CE –Condutividade Elétrica; MO – Matéria Orgânica; Al<sup>3+</sup>- Alumínio; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Nitrato; H<sup>+</sup> - Acidez ativa; H+Al – Acidez potencial; S – Solo coletado antes da implantação das fossas; F1 – Fossa verde 1; F2 – Fossa verde 2; F3 – Fossa verde 3; F4 – Fossa verde 4

**Tabela 11 – Estatística descritiva dos resultados das variáveis de macronutrientes e micronutrientes em amostras de solo, Comunidade Minguiriba, Crato-CE**

	Macronutrientes					Micronutrientes				
	P	Na <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	B	Fe <sup>3+</sup>	Mn	Cu <sup>+</sup>	Zn
	(mg/dm <sup>3</sup> )	(mmolc/dm <sup>3</sup> )				(mg/dm <sup>3</sup> )				
<b>S</b>	7,00	9,00	2,00	13,00	3,00	0,40	35,00	6,00	0,50	3,10
<b>F1</b>	11,00	18,00	2,00	18,00	4,00	0,37	91,00	4,00	0,50	3,10
<b>F2</b>	8,00	27,00	2,00	16,00	4,00	0,30	83,00	2,00	0,20	2,30
<b>F3</b>	4,00	16,00	1,80	8,00	1,00	0,47	76,00	2,00	0,20	2,00
<b>F4</b>	3,00	14,00	2,50	10,00	2,00	0,37	99,00	3,00	0,20	1,70

P – Fósforo; Na<sup>2+</sup> - Sódio; K<sup>+</sup>- Potássio; Ca<sup>2+</sup> - Cálcio; Mg<sup>2+</sup> - Magnésio; B – Boro; Fe<sup>3+</sup> - Ferro; Mn – Manganês; Cu<sup>+</sup> - Cobre; Zn – Zinco; S – Solo coletado antes da implantação das fossas; F1 – Fossa verde 1; F2 – Fossa verde 2; F3 – Fossa verde 3; F4 – Fossa verde 4

### *Potencial hidrogeniônico (pH)*

Para o pH observou-se diferença significativa, com p-valor <0,05, entre as medianas do solo em pH1/pH2 (Tabela 12). Ao comparar os resultados obtidos conforme Tabela 14, observou-se que houve elevação da variável em relação ao pH inicial do solo da área de implantação da fossa verde de 5,10 e o do solo das fossas verdes testes (F1, F2 e F3) com pH de 5,60.

O potencial hidrogeniônico é um dos principais fatores que influencia a solubilidade dos elementos, bem como dos problemas relacionados a sua deficiência e toxicidade. Os elementos Fe, Cu, Mn, Zn, tem sua disponibilidade reduzida após elevação do pH no solo. Por outro lado, os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e B, tem maior disponibilidade com o aumento do pH (FLORÊNCIO et al, 2006; MALAVOLTA et al, 1997).

**Tabela 12- Teste de Kruskal Wallis para análise de solo das fossas verdes testes e controle.**

Variáveis	p-valor	Variáveis	p-valor	Variáveis	p-valor
pH 1/pH 2	< 0,05	Ca <sup>2+</sup> 2/ Ca <sup>2+</sup> 3	< 0,05	Fe 1/ Fe 3	< 0,05
pH 1/pH 3	ns	Mg 1/ Mg 2	ns	Fe 2/ Fe 3	ns
pH 2/pH 3	ns	Mg 1/ Mg 3	ns	Mn 1/ Mn 2	ns
H+Al 1/ H+Al 2	ns	Mg 2/ Mg 3	< 0,05	Mn 1/ Mn 3	ns
H+Al 1/ H+Al 3	< 0,05	CTC 1/ CTC 2	ns	Mn 2/ Mn 3	< 0,05
H+Al 2/ H+Al 3	ns	CTC 1/ CTC 3	ns	Zn 1 / Zn 2	ns
MO 1/ MO 2	< 0,05	CTC 2/ CTC 3	< 0,05	Zn 1 / Zn 3	< 0,05
MO 1/ MO 3	ns	V 1/ V 2	ns	Zn 2 / Zn 3	ns
MO 2/ MO 3	ns	V 1/ V 3	< 0,05	CE 1 / CE 2	< 0,05
P 1/ P 2	ns	V 2/ V 3	ns	CE 1 / CE 3	ns
P 1/ P 3	ns	B 1/ B 2	ns	CE 2 / CE 3	ns
P 2/ P 3	< 0,05	B 1/ B 3	< 0,05	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 1/ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 1	ns
K <sup>+</sup> 1/ K <sup>+</sup> 2	ns	B 2/ B 3	ns	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 1/ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 3	< 0,05
K <sup>+</sup> 1/ K <sup>+</sup> 3	ns	Cu 1 / Cu 2	ns	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 2/ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 3	ns
K <sup>+</sup> 2/ K <sup>+</sup> 3	< 0,05	Cu 1 / Cu 3	< 0,05	Na <sup>2+</sup> 1/ Na <sup>2+</sup> 2	< 0,05
Ca <sup>2+</sup> 1/ Ca <sup>2+</sup> 2	ns	Cu 2 / Cu 3	ns	Na <sup>2+</sup> 1/ Na <sup>2+</sup> 3	ns
Ca <sup>2+</sup> 1/ Ca <sup>2+</sup> 3	ns	Fe 1/ Fe 2	ns	Na <sup>2+</sup> 2/ Na <sup>2+</sup> 3	ns

-Solo da área de implantação da fossa verde: 1; Solo das fossas verdes testes: 2; Solo das fossas verdes controle: 3; pH: Potencial hidrogeniônico; H+Al: Acidez potencial; MO: Matéria Orgânica; P: Fósforo; K<sup>+</sup>: Potássio; Ca<sup>2+</sup>: Cálcio; Mg: Magnésio; CTC: Capacidade de troca de cátions; V: Saturação por base; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn:Manganês; Zn:Zinco; CE: Condutividade Elétrica; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitrato; Na<sup>2+</sup>: Sódio  
Fonte: pesquisa direta

Nas fossas verdes testes, o pH estabilizou em valores superiores aos do solo após o recebimento do fluxo de águas cinzas no interior das unidades. Segundo Aita et al. (2003), com a entrada da água no solo, o pH sofre um decréscimo durante os primeiros dias de recebimento devido ao acúmulo de CO<sub>2</sub>, que sofre dissolução na água.

Nesse sentido, segundo o autor, o pH começa a aumentar devido a redução do solo, a qual consome íons H<sup>+</sup>, até um momento em que o metabolismo presente no solo é exclusivamente anaeróbio.

Ressalta-se que esse aumento de pH no solo, no interior das unidades de fossas verdes teste, é de suma importância para o beneficiamento da dinâmica de nutrientes, favorecendo um melhor desenvolvimento dos cultivares.

Essa variável também tem um papel importante no controle do equilíbrio químico de silicatos, carbonatos, fosfatos, hidróxidos, sulfatos, e esse equilíbrio regula as reações de precipitação, dissolução, adsorção e dessorção de íons e moléculas envolvidas no processo de redução do solo (SOUSA et al., 2000).

Para o milho a faixa considerada adequada para a cultura do milho 5,5 a 6,5 (DARTORA et al, 2013). De acordo com Freire Filho (2005) o feijão caupí é uma planta que possui determinada tolerância a meios ácidos, portanto, solos com uma faixa superior a 5,5 são aptos à cultura.

### ***Acidez potencial (H+Al)***

Obteve-se diferença significativa entre a H+Al 1/H+Al 3 com p-valor <0,05 entre as medianas de acidez potencial. O solo da área de implantação da fossa verde, representado por H+Al 1, obteve acidez potencial de 25,00 mmolc/dm<sup>3</sup>, enquanto no solo da fossa verde controle (H+Al 3), o resultado encontrado foi de 22,00 mmolc/dm<sup>3</sup>.

Essa diferença entre os resultados foi devido o solo antes da implantação das fossas encontrar-se em contato direto com alguns tipos resíduos (casca de pequi, carvão, alguns vestígios de resíduos sólidos, fezes e urina de animais) dispostos a céu aberto, ocorrendo uma alteração no valor de acidez potencial, enquanto que o solo da área da fossa verde controle (F4), durante o experimento, permanecia totalmente isolado de influências externas de pessoas e animais.

Define-se acidez potencial aquela que envolve não apenas os íons Al<sup>+3</sup>, mas também íons de H<sup>+</sup> trocável, e aqueles ainda combinados nos colóides por ligações covalentes e que poderão se dissociar (SILVA, 2006; RAIJ e QUAGGIO, 2001). Logo, essa acidez refere-se a soma da acidez trocável e da acidez não trocável. Cabe ressaltar que a acidez potencial é constituída por hidrogênio e alumínio.

### ***Matéria Orgânica (MO)***

Para a variável matéria orgânica obteve-se diferença significativa entre MO 1/ MO 2 com p-valor <0,05. Analisando os resultados de acordo com a Tabela 12 verifica-se um aumento desse nutriente nos solos da área de implantação das fossas verdes (MO 1) com resultado obtido de 29,00 d/cm<sup>3</sup> e uma diminuição nos solos das fossas verdes testes (MO 2), com valor obtido de 17,00 d/cm<sup>3</sup>.

Essa diminuição no teor de MO do solo nas unidades das fossas verdes testes (F1, F2 e F3) podem ser atribuídas provavelmente a maior concentração de nitrogênio e carbono existente nas águas tenha favorecido a rápida mineralização da matéria orgânica dos solos desses tratamentos.

Efluentes secundários contêm, muitas vezes, altas concentrações de nitrogênio orgânico que é susceptível a decomposição microbiana do solo, que por sua vez, transforma em compostos inorgânicos simples disponíveis às plantas como a amônia e o nitrato. Além da concentração de nitrogênio, os efluentes secundários contêm concentrações de carbono bem maiores do que as águas superficiais, o que favorece a proliferação da biota do solo, a qual transforma nitrogênio orgânico em nitrogênio assimilável às plantas (DUARTE, 2006; FEIGIN et al, 1991).

### ***Fósforo (P)***

Quanto ao fósforo, a diferença significativa com p-valor <0,05 entre as medianas do solo foi com relação a P2/ P3. Ao comparar os resultados obtidos de fósforo na Tabela 12, verifica-se um aumento desse nutriente nos solos das unidades de fossas verdes testes (F1, F2 e F3) de 8,00 mg/dm<sup>3</sup>, e uma diminuição na fossa verde controle (F4), com valor para o fósforo de 3,00 mg/dm<sup>3</sup>.

Esse resultado pode ser explicado pelo fato das águas cinzas conter 99% de água e 1% de colóides suspensos e dissolvidos, orgânicos e inorgânicos, incluindo macronutrientes, principalmente N, P e K (FLORÊNCIO et al, 2006).

A absorção de fósforo pela planta depende do pH, pois essa variável determina a solubilidade e capacidade de adsorção pelas plantas quando é utilizado em composição com outros nutrientes (COSTA et al 2012 apud ANDREOTTI et al., 2001).

Ainda, segundo os autores, na planta o fósforo atua no sistema radicular, e é um elemento imprescindível ao seu desenvolvimento, porém no nordeste do Brasil este é um elemento que a maioria dos solos apresenta deficiência.

Assim a tecnologia social fossa verde, se torna possivelmente, uma alternativa para a fertirrigação de solos pobres em nutrientes, pois trata os esgotos de composição nutricional elevada e os reutiliza no solo, contribuindo além da reciclagem de nutrientes, com a agricultura de pequenas comunidades do Semiárido Cearense.

### **Potássio ( $K^+$ )**

Quanto ao potássio, houve diferença significativa com p-valor  $<0,05$  entre as medianas em  $K^{+2}/K^{+3}$ . Verificando os resultados de fósforo com dados das análises de fertilidade dos solos, conforme Tabela 12, observou-se um acréscimo desse nutriente nas unidades de fossas verdes que utilizam águas cinzas ( $K^{+2}$ ), e uma diminuição na fossa verde que é abastecida por água da cisterna ( $K^{+3}$ ). Os valores variaram de 2,00 mmolc/dm<sup>3</sup> a 2,50 mmolc/dm<sup>3</sup>, respectivamente.

Prado et al. (2004b), afirmam que as maiores doses de potássio aplicadas ao solo implicaram no decréscimo de cálcio e magnésio acumulados na planta.

O inverso desta relação é mostrado por Medeiros et al. (2008), onde revela que o aumento de cálcio e magnésio no solo implica na diminuição de absorção do potássio, diminuindo seu teor na parte aérea da planta. Esta relação no solo foi observada no presente estudo, na Tabela 10 onde as amostras de solo das fossas verdes testes (F1, F2 e F3) abastecidas por águas cinzas, teve aumento considerável de cálcio e magnésio e diminuição do potássio.

No entanto, na fossa verde controle (F4) ocorreu o inverso, os teores de cálcio e magnésio no solo diminuíram e a concentração de potássio aumentou. De acordo com Costa et al (2012) esse fato deve-se por que o potássio participa de vários processos enzimáticos e metabólicos na planta, é um nutriente elementar, e uma de suas funções mais conhecidas, abertura e fechamento dos estômatos, regula entrada e saída de água da planta (transpiração).

O processo de transpiração na fossa verde controle foi mais intenso devido ao maior recebimento de radiação solar.

### **Cálcio ( $Ca^{2+}$ )**

Observou-se diferença significativa com p-valor  $<0,05$  entre as medianas em  $Ca^{2+2}/Ca^{2+3}$ . Na Tabela 12, os resultados da mediana de cálcio no solo das fossas verdes testes (F1, F2 e F3) foram de 16,00 mmolc/dm<sup>3</sup> de  $Ca^{2+}$ , enquanto no solo da fossa verde controle (F4) o valor obtido foi de 10,00 mmolc/dm<sup>3</sup> de  $Ca^{2+}$ .

Essa diferença pode ser atribuída pela influência das características físicas e químicas das águas cinzas utilizadas para o funcionamento das fossas verdes testes.

O  $\text{Ca}^{2+}$  mantém a integridade funcional da membrana celular. Na sua falta, essa membrana torna-se porosa, podendo perder íons já absorvidos e, também, absorver íons indesejáveis. A germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico são dificultados, quando há carência de  $\text{Ca}^{2+}$ . Há enzimas relacionadas com o metabolismo do fósforo que são ativadas pelo  $\text{Ca}^{2+}$  (ATPeases de membrana) (SFREDO, 2008).

Segundo ao autor, na deficiência de cálcio são afetados os pontos de crescimento, tanto da raiz como da parte aérea, e os sintomas aparecem nas partes mais novas da planta, atrofiando o sistema radicular.

### ***Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ )***

Em relação ao Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) foi obtida diferença significativa com p-valor  $<0,05$  entre  $\text{Mg}^{2+}2/ \text{Mg}^{2+}3$ , indicando que os resultados da mediana de  $\text{Mg}^{2+}2$  no solo das fossas verdes testes (F1, F2 e F3) foram de  $4,00 \text{ mmolc/dm}^3$ , enquanto que em  $\text{Mg}^{2+}3$ , solo da fossa verde controle (F4), o valor obtido foi de  $2,00 \text{ mmolc/dm}^3$ .

É absorvido como  $\text{Mg}^{2+}$ , sendo fortemente influenciado pela presença de  $\text{K}^+$  e de  $\text{Ca}^{2+}$  no meio. O  $\text{Mg}^{2+}$  corresponde a 2,7% do peso da clorofila, fazendo parte na sua composição química (50% de Mg contido nas folhas estão no cloroplasto), sendo fundamental nos processos de fotossíntese.

A clorofila é o único composto estável, abundante nas plantas, que contém um átomo de  $\text{Mg}^{2+}$  não dissociável. Esse cátion é muito móvel no floema e, por isso, na deficiência de magnésio, as folhas mais velhas mostram clorose internerval (amarelo-claro) e nervuras cor verde-pálida (SFREDO, 2008).

### ***Capacidade de Troca de Cátions (CTC)***

Foram obtidas diferenças significativas entre CTC 2/ CTC 3 com p-valor  $<0,05$ . Como descrito na Tabela 12, os resultados da mediana de cálcio no solo das fossas verdes testes (F1, F2 e F3), representado por CTC 2, foram de  $45,10 \text{ mmolc/dm}^3$ , enquanto no solo da fossa verde controle (F4), identificado como CTC 3, o valor obtido foi de  $28,10 \text{ mmolc/dm}^3$ .

A capacidade de troca de cátions (CTC) é de grande importância na agricultura, pois, essa variável é responsável pela retenção de cátions como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ , entre outros, evitando que eles acompanhem as águas de drenagem, mas, ao

mesmo tempo, mantendo-os em condições de disponibilidade para os vegetais (LOPEZ E GUILHERME, 2004; RAIJ, 1983).

Comparando os tratamentos nas fossas verdes, verifica-se um maior aporte de matéria orgânica nas unidades F1, F2 e F3 (Tabela 10), pois estas recebem um fluxo de águas cinzas provindas do banho, que são constituídas de quantidades significativas de macronutrientes e micronutrientes.

O aumento de cargas negativas no solo exercidas pela influência do recebimento de águas cinzas nas unidades de fossas verdes testes, propiciou uma maior retenção de cátions e uma elevação no teor de matéria orgânica no solo, por sua vez, favorecendo o aumento na concentração da CTC.

Ainda, segundo os autores, a CTC do solo além de ser influenciada pela espécie e quantidade de argila e matéria orgânica e pela superfície específica, também é fortemente alterada pelo pH do meio (LOPEZ E GUILHERME, 2004).

#### ***Saturação por bases (V%)***

Quanto a saturação por bases, as diferenças significativas entre V1/V3 obtiveram p-valor <0,05. Os resultados da mediana de saturação por bases no solo da área de implantação das fossas verdes representado por V1 foi de 42,3 % e 53,70 % no solo das fossas verdes controle (V3).

Essa variável é fundamentada na correlação positiva existente entre os valores de pH e o teor de H+Al . O valor adequado da saturação por bases é variável para cada região, de acordo com as propriedades químicas dos solos predominantes e que determinam os maiores rendimentos econômicos (SFREDO, 2008)

Segundo Roquin (2010) o solo que apresentar a percentagem de saturação por bases (V%) maior que 50% é considerado um solo fértil. Solos com V menor que 50% seriam chamados de solos não férteis ou de baixa fertilidade. São solos ricos em nutrientes, especialmente  $Ca^{2+}$ . A CTC destes solos armazena mais da metade dos cátions básicos. Os solos com V% menor que 50% seriam os solos "distróficos" ou pouco férteis.

O milho é uma espécie exigente em fertilidade do solo, e necessita de pH, Ca, Mg, saturação por alumínio e saturação por bases, sendo mínimos em torno de 6,0; 2,2; 0,8; menor que 20% e 50-55%, respectivamente. Dentre esses parâmetros, a saturação

por bases pode ser considerada a mais importante característica química do solo para a produção do milho (FAGERIA, 2001)

### ***Boro (B)***

Para o boro, obteve-se uma significância entre B1/B3 com p-valor  $<0,05$ . As diferenças nos valores obtidos entre o solo da área de implantação das fossas verdes e solo das fossas verdes controle foram de  $0,40 \text{ mg/dm}^3$  e  $0,37 \text{ mg/dm}^3$ , conforme Tabela 12, respectivamente.

Em solos alcalinos, com altos teores de boro, a fração do elemento que fica adsorvida constitui o reservatório lábil, a partir da qual a concentração de boratos na solução do solo é mantida, enquanto que em solos ácidos e com baixos teores de matéria orgânica o principal reservatório desse micronutriente no solo é representado pelos minerais contendo boro, os quais são vagorosamente intemperizados (HELL ET AL. 2003)

A água de chuva contém boro em teores que variam de 0,02 a 0,04 ppm, quantidades consideradas baixas, mas que de certo modo poderão contribuir para elevar o nível do elemento no solo (GUERINOT E YI 1994, MARENCO E LOPES 2009).

O boro total é representado no solo pelas suas formas contidas nos minerais, na matéria orgânica e adsorvida ou fixada, formas estas não absorvidas pelas raízes das plantas, e, ainda pelo boro da solução do solo, que são absorvidas.

Os teores de 0,7 a 1,0 ppm, permitem o desenvolvimento normal das plantas. Aqueles variando de 1,0 a 5,0 ppm são tóxicos às plantas. Os principais fatores que afetam sua disponibilidade são: pH, matéria orgânica, ferro, alumínio e outros íons.

### ***Cobre ( $\text{Cu}^+$ )***

Em relação ao cobre foram encontradas diferenças significativas entre C1/ C3 com p-valor  $<0,05$ . Em C1 (solo da área de implantação das fossas verdes) obteve-se a concentração de cobre de  $0,50 \text{ mg/dm}^3$  e em C3 (solo da fossa verde controle), a concentração foi de  $0,20 \text{ mg/dm}^3$ .

Nos solos o cobre pode existir da seguinte forma: na solução do solo, nos locais normais de troca, na matéria orgânica, e na estrutura dos minerais primários. Sendo que,

nesses últimos, o cobre está geralmente associado ao enxofre, em virtude da grande afinidade existente entre ambos. (KUKI ET AL. 2009),

Em relação a matéria orgânica o ácido húmico forma um complexo de alta estabilidade com o cobre. As plantas retiram do solo o cobre que necessitam e nele a quantidade de elementos são relativamente pequenas (GUERINOT E YI 1994, MARENCO E LOPES 2009).

### ***Ferro ( $Fe^{3+}$ )***

Foram obtidos um nível de significância entre  $Fe^{3+}1/ Fe^{3+}3$  com p-valor  $<0,05$ , conforme Tabela 12. Para  $Fe^{3+}1$  (solo da área de implantação das fossas verdes testes) o resultado da mediana foi de  $35 \text{ mg/dm}^3$  e para  $Fe^{3+}3$  (solo da fossa verde controle), foi de  $99 \text{ mg/dm}^3$ .

O ferro é um micronutriente essencial para a manutenção da vida, porém está pouco disponível na maioria dos solos (Marschner et al. 2011). Em plantas, ele está relacionado a diversas atividades metabólicas, participando da formação de algumas enzimas (catalase, peroxidase, citocromo oxidase e xantina oxidase), além de ser indispensável nos processos de respiração, fotossíntese, fixação de  $N_2$  e transferência de elétrons através do ciclo entre o  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  (GUERINOT E YI 1994, MARENCO E LOPES 2009).

Para driblar a deficiência de ferro nos solos, as plantas desenvolveram duas estratégias para a sua absorção. As dicotiledôneas e nas monocotiledôneas não gramináceas, consiste na redução do  $Fe^{3+}$  em  $Fe^{2+}$  através da acidificação da rizosfera, causada pela extrusão de prótons pelas  $H^+$ -ATPases de membrana plasmática. Esta redução do  $Fe^{3+}$  em  $Fe^{2+}$  é promovida por uma proteína específica, a Ferro Quelato Redutase (FRO). Após a redução, o  $Fe^{2+}$  é transportado por transportadores específicos de membrana (IRT) para o interior das células (HELL ET AL. 2003)

Sintomas de toxicidade em plantas foram observados por Kuki et al. (2009), onde a espécie de restinga *Sophora tomentosa* apresentou raízes cobertas por placas de ferro e tiveram o seu crescimento atrofiado além da presença de manchas avermelhadas. Porém estes sintomas de toxidez variam de planta pra planta, e geralmente estão associados à capacidade do ferro em ser translocado para a parte aérea das plantas.

### ***Manganês (Mn<sup>+</sup>)***

Quanto ao manganês houve diferenças significativas entre Mn<sup>2+</sup>/Mn<sup>3+</sup> com p-valor <0,05. As concentrações da variável foram de 6,00 mg/dm<sup>3</sup> e 3,00 mg/dm<sup>3</sup> para Mn<sup>2+</sup> e Mn<sup>3+</sup>, respectivamente.

O manganês existente no solo pode ser dividido em trocável, complexado ou na solução do solo. O equilíbrio entre essas formas é influenciado pelo pH e condições de condições de oxi-redução no solo (CHANEY 1993, LI ET AL. 2002)

De todas as formas de manganês existentes no solo é a da solução que supre as necessidades das plantas, pois absorvem manganês na forma iônica Mn<sup>2+</sup> e o suprimento às raízes é efetuado por fluxo de massa e por difusão. Esse processo é muito afetado pela concentração do elemento do solo, a qual por sua vez é influenciada por pH, potencial redox, atividade microbiana e teor de matéria orgânica (MARENCO E LOPES 2009, BROADLEY ET AL. 2006).

A disponibilidade do manganês tende a diminuir com elevação do pH, o que é um reflexo do mesmo na solubilidade de óxidos, na diminuição da quantidade do cátion adsorvido à superfície e da alta estabilidade do complexo de matéria orgânica. A deficiência de manganês em plantas ocorre em alguns solos quando o pH da água é superior a 6,2.

### ***Zinco (Zn)***

Obteve-se diferenças significativas para o Zn<sup>1</sup>/Zn<sup>3</sup> com p-valor <0,05. As concentrações da variável foram de 3,10 mg/dm<sup>3</sup> e 1,70 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente.

Esse elemento é um micronutriente essencial para os organismos, por ser um componente estrutural de muitas proteínas, além de ser particularmente indispensável para o crescimento das plantas (Chaney 1993, Li et al. 2002). Sendo assim, a deficiência de Zn pode reduzir a produtividade de grãos e debilitar a resistência dos cereais a doenças, diminuir a qualidade nutricional dos grãos; redução drástica da síntese proteica (devido a relação com a atividade da RNAase); causa retardo e redução no crescimento; folhas pequenas e mal conformadas; entrenós curtos; formação de folhas em roseta; clorose internerval (devido a participação do Zn na formação de clorofila), além de necrose no meristema apical da raiz (MARENCO E LOPES 2009, BROADLEY ET AL. 2006).

Em altas concentrações, esse metal é potencialmente tóxico (Li et al. 2002). A toxidez do Zn em plantas acarreta na diminuição tanto da produção de matéria seca da parte aérea, quanto da biomassa radicular; necrose da radícula ao entrar em contato com o solo; morte da plântula e inibição do crescimento vegetal (CARNEIRO ET AL. 2002, LI ET AL. 2011).

### ***Condutividade Elétrica (CE)***

Foram obtidos um nível de significância entre CE 1/ CE 2 com p-valor <0,05, conforme Tabela 12. Para CE 1 (solo da área de implantação das fossas verdes) o resultado da mediana foi de 0,14 dS/m e para CE 2 (solo da fossa verde controle), foi de 0,10 dS/m.

É o fenômeno de transferência de eletricidade exercida pelas partículas carregadas (íons, colóides) sobre uma força aplicada em um campo elétrico (CAMARGO et al., 1999).

Segundo Rhoden et al (2014), em solos onde ocorre um fluxo considerável de água, favorece um aumento na concentração de CE devido a redução do solo, que afeta diretamente a mobilidade do  $Fe^{2+}$  e do  $Mn^{2+}$ , ocorrendo também um acúmulo de  $NH_4^+$  e  $HCO_3^-$  e íons orgânicos, ao mesmo tempo que permite um deslocamento dos cátions dos sítios de troca para a solução do solo.

Os nutrientes adsorvidos na argila, matéria orgânica e oxihidróxidos de ferro, manganês e alumínio, são N, P, S, Si, B, Cu, Zn e Mo (RHODEN et al 2014; PONNAMPERUMA, 1977), sendo esta adsorção devido, possivelmente, a uma atração eletrostática ou ligação covalente (CAMARGO et al., 1999).

Além dos íons  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  e  $NH_4^+$ , a CE é aumentada também pelo deslocamento dos ânions  $NO_3^-$  e  $SO_4^{2-}$ , formados durante a desnitrificação e redução do sulfato, respectivamente, por íons menos móveis, como o  $HCO_3^-$ , e pela neutralização, em solos ácidos, dos íons  $H^+$  (RHODEN et al 2014; PONNAMPERUMA, 1972).

### ***Nitrato ( $NO_3^-$ )***

Houve diferença significativa na variável de nitrato com p-valor < 0,05 entre os solos da área de implantação das fossas verdes ( $NO_3^-$  1) e solo da fossa verde controle

(NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 3). Para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 1, o valor encontrado para a concentração de nitrato foi de 67,70 mg/Kg, quanto que para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 3 a o valor obtido foi de 21,10 mg/Kg.

Segundo Andrade et al. (2009), a lixiviação do nitrato é potencializada pelas propriedades físicas dos solos, pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada dotação de água empregada na irrigação.

O uso de fontes nitrogenadas em fertigação acelera a dinâmica do nitrogênio no solo resultando no aumento da concentração de nitrato na solução do solo que, por ser de alta mobilidade, pode ser lixiviado para os lençóis freáticos.

A presença do nitrato na solução do solo depende dos atributos químicos do solo, da fonte de nitrogênio, da massa aplicada e da concentração do fertilizante nitrogenado na água de irrigação. Segundo Andrade et al. (2009), a lixiviação do nitrato é potencializada pelas propriedades físicas dos solos, pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada dotação de água empregada na irrigação

### **Sódio (Na<sup>2+</sup>)**

De acordo com o teste de Kruskal Wallis ocorreram diferenças significativas entre Na<sup>2+</sup>1/ Na<sup>2+</sup>3 com p-valor <0,05.

O excesso de sais de sódio, além de trazer prejuízos às propriedades físicas e químicas do solo, provoca a redução generalizada do crescimento das plantas cultivadas provocando sérios prejuízos à atividade agrícola (CAVALCANTE et al., 2010).

Contudo, o grau ou a concentração de sais que determinam essa redução varia com a espécie, podendo esse fato estar relacionado com a tolerância de cada espécie à salinidade (FERREIRA et al., 2001).

No solo, os efeitos da salinidade no desenvolvimento vegetal provem de alterações nas suas propriedades químicas e físicas. Em relação às propriedades químicas, o aumento das concentrações de sais e sódio trocável, ocasiona a redução de sua fertilidade e, em longo prazo, pode levar a desertificação (D'ALMEIDA et al., 2005).

## 6.6 Caracterização fenológica e de produção do milho e do feijão

Da análise das Tabelas 13 e 14, referentes aos resultados da cultura do milho, verifica-se que os valores médios da altura da planta, do diâmetro caulinar, do número de folhas, do comprimento e diâmetro da espiga e do peso dos grãos foram mais elevados nas fossas verdes teste (F1, F2, F3).

**Tabela 13 – Estatística descritiva dos resultados das análises fenológicas do milho obtidos na nas unidades fossas verdes, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.**

	Altura (m)				Diâmetro do Caule (mm)				Número de folhas			
	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)
<b>F1</b>	2,57	1,40	2,85	12,40	2,01	1,40	2,60	13,24	13,63	11,00	16,00	8,89
<b>F2</b>	2,58	2,22	2,84	6,89	1,84	1,00	1,25	20,16	13,40	11,00	15,00	8,86
<b>F3</b>	2,60	2,18	2,87	6,77	1,87	1,10	2,10	13,05	13,63	12,00	15,00	7,42
<b>F4</b>	2,11	1,10	2,63	20,22	1,77	1,20	2,00	14,53	11,21	9,00	17,00	19,17

Fonte: Pesquisa direta

**Tabela 14 – Estatística descritiva dos resultados das análises de produção do milho obtidos na nas unidades fossas verdes, Comunidade Minguiriba, Crato-CE.**

	Comp. Espiga (cm)				Diâmetro da Espiga (cm)				Peso dos grãos (g)				Total de Espigas
	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)	
<b>F1</b>	13,96	8,50	18,90	23,86	13,03	9,50	15,00	10,97	212,78	40,00	300,53	36,38	19,00
<b>F2</b>	12,89	8,00	19,00	24,74	11,90	9,00	14,00	1,20	165,90	56,05	308,75	45,62	26,00
<b>F3</b>	17,00	15,00	20,00	10,12	11,22	9,90	14,20	11,53	127,94	64,28	236,42	40,08	18,00
<b>F4</b>	11,38	9,00	15,00	17,73	10,31	8,00	12,00	11,60	93,09	53,83	123,98	22,27	23,00

Fonte: Pesquisa direta

Ao se aplicar o teste de Kruskal Wallis aos resultados das análises fenológicas do milho, (Tabela 15), verificou-se que, para p-valor <0,05, ocorreu diferença significativa entre as medianas dos resultados dos parâmetros analisados nas fossas verdes teste e na fossa controle. A partir desse resultado infere-se que o comprimento de espiga (CEsp), o peso dos grãos (PGM), o diâmetro da espiga (DEsp), o número de folhas (NFM) e a altura (AltM) dos cultivares de milho produzidos nas fossas verdes teste foram significativamente superiores aos verificados na fossa verde controle. Esse resultado sugere que as fossas verdes teste apresentaram desempenho melhor do que a fossa verde controle.

**Tabela 15 – Resultados do teste de Kruskal Wallis aplicado aos dados da análise fenológica do milho.**

Variáveis	p-valor	Variáveis	p-valor	Variáveis	p-valor
CEsp 1/ CEsp 2	ns	DEsp 1/ DEsp 2	< 0,05	DCM 1/DCM 2	ns
CEsp 1/ CEsp 3	ns	DEsp 1/ DEsp 3	< 0,05	DCM 1 DCM 3	ns
CEsp 1/ CEsp 4	ns	DEsp 1/ DEsp 4	ns	DCM 1/DCM 4	ns
CEsp 2/ CEsp 3	ns	DEsp 2/ DEsp 3	ns	DCM 2 DCM 3	ns
CEsp 2/ CEsp 4	< 0,05	DEsp 2/ DEsp 4	< 0,05	DCM 2 DCM 4	ns
CEsp 3/ CEsp 4	< 0,05	DEsp 3/ DEsp 4	ns	DCM 3 DCM 4	ns
PGM 1/PGM 2	ns	NFM 1/NFM 2	ns	AltM 1/ AltM 2	ns
PGM 1/PGM 3	< 0,05	NFM 1/NFM 3	ns	AltM 1/ Alt 3	ns
PGM 1/PGM 4	< 0,05	NFM 1/NFM 4	< 0,05	AltM 1/ AltM 4	< 0,05
PGM 2/PGM 3	ns	NFM 2/NFM 3	ns	AltM 2 AltM 3	ns
PGM 2/PGM 4	< 0,05	NFM 2/NFM 4	< 0,05	AltM 2/ AltM 4	< 0,05
PGM 3/PGM 4	ns	NFM 3/NFM 4	< 0,05	AltM 3/ AltM 4	< 0,05

**-Fenologia do milho cultivado na fossa verde teste: 1; Fenologia do milho cultivado na fossa verde teste: 2; -Fenologia do milho cultivado na fossa verde teste: 3; Fenologia do milho cultivado na fossa verde controle: 4 CEsp: Comprimento da espiga; PGM: Peso dos grãos de milho; DEsp: Diâmetro de espiga; NFM: Número de folhas de milho; DCM: Diâmetro caulinar do milho; AltM: Altura de milho**  
**Fonte: Pesquisa direta**

O melhor desenvolvimento dos cultivares de milho das fossas verde teste é atribuído ao fato das águas cinzas possuírem teores de nutrientes e de matéria orgânica mais elevados do que as águas da cisterna, resultando, assim, no aumento dos teores de matéria orgânica (Tabela 10) e de nitrato (Tabela 11) no solo das fossas verdes teste.

Quanto a altura das plantas, Santos (2009) e Chernicharo (1997) ressaltam que a aplicação dos nutrientes contidos nos efluentes tratados pode reduzir ou mesmo eliminar a necessidade de fertilizantes comerciais, além da matéria orgânica contida nos mesmos aumentar a capacidade do solo em reter água.

Ainda, segundo os autores, o nitrogênio situa-se entre os nutrientes mais importantes no crescimento e desenvolvimento de vegetais, sendo ainda necessário em maior proporção em comparação com os demais.

De acordo com Costa et al (2014) e Vasquez-Montiel et al. (1996) citam resultados de pesquisa realizada com milho submetido a irrigação com água residuária e de abastecimento e observaram que a fertirrigação com o esgoto tratado aumentou a absorção de nitrogênio e fósforo pelas plantas de milho e, conseqüentemente, a produtividade delas.

Nas análises fenológicas do cultivar feijão foi verificado, conforme Tabelas 16, que em F1 as variáveis concernentes a altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas foram bem desenvolvidos. Comparando esses resultados com a produção na mesma unidade (F1), descritos na Tabela 17 obteve-se valores inferiores quanto ao comprimento de vagem, peso dos grãos e total de vagens.

Esse aspecto pode ser explicado devido as plantas de feijão serem baixas, geralmente não ultrapassando 70 cm de altura, aumentando a suscetibilidade à competição por luz. Neste caso, o consórcio do milho com o feijão propiciou um sombreamento sobre a espécie de menor porte, além disso, a cultura possui menor capacidade de captar e de transformar a luz interceptada em biomassa (Santos et al., 2003). Uma das razões da pequena capacidade de captação de luz é o baixo índice de área foliar da cultura do feijão, em geral inferior a 4,0 (PROCÓPIO ET AL., 2004B).

**Tabela 16 – Estatística descritiva dos resultados das análises fenológicas do feijão obtidos nas unidades fossas verdes, Comunidade Minguiriba, Crato-CE**

	Altura (m)				Diâmetro do Caule (mm)				Número de folhas trifolioladas			
	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)
<b>F1</b>	0,44	0,32	0,69	25,00	0,33	0,30	0,50	22,04	13,37	3,00	25,00	57,21
<b>F2</b>	0,36	0,30	0,50	14,23	0,31	0,20	0,40	28,24	7,70	2,00	15,00	46,64
<b>F3</b>	0,41	0,27	0,65	30,18	0,26	0,20	0,30	19,86	10,20	4,00	22,00	53,46
<b>F4</b>	0,30	0,12	0,53	41,50	0,29	0,20	0,30	10,90	10,50	5,00	18,00	35,70

Fonte: Pesquisa direta

**Tabela 17 – Estatística descritiva dos resultados das análises de produtividade do feijão obtidos na nas unidades fossas verdes, Comunidade Minguiriba, Crato-CE**

	Comp. Vagem (cm)				Diâmetro da Vagem (cm)				Peso dos grãos (g)	Total de Vagens
	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)	$\bar{X}$	MIN	MAX	CV (%)		
<b>F1</b>	12,92	9,00	15,50	12,75	0,10	0,10	0,11	4,90	15,00	18,00
<b>F2</b>	13,30	10,00	16,00	14,76	0,10	0,10	0,11	4,85	25,00	22,00
<b>F3</b>	15,80	15,00	17,00	4,28	0,10	0,10	0,11	4,81	47,00	36,00
<b>F4</b>	26,01	19,00	30,00	7,83	0,10	0,10	0,11	4,78	165,32	105,00

Fonte: Pesquisa direta

Do teste de Kruskal Wallis (Tabela 18) foram verificadas diferenças significativas, para p-valor <0,05, entre as medianas dos comprimentos das vagens (CVAG) e entre as medianas dos pesos dos grãos (PGF), obtidas nas fossas verdes teste e na fossa controle.

É importante salientar que a fertirrigação propiciada pelas águas cinzas ao solo das unidades fossas verdes teste proporcionou maiores valores de altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas para ambas as culturas, conforme Figura 12.

**Tabela 18 – Resultados do teste de Kruskal Wallis aplicado aos dados das análises fenológicas do feijão**

Variáveis	p-valor	Variáveis	p-valor	Variáveis	p-valor
CVAG 1/ CVAG 2	ns	DVAG 2/ DVAG 4	ns	DCF 2/ DCF 4	ns
CVAG 1/ CVAG 3	ns	DVAG 3/ DVAG 4	ns	DCF 3/ DCF 4	ns
CVAG 1/ CVAG 4	< 0,05	NFF 1/NFF 2	ns	AltF 1/AltF 2	ns
CVAG 2/ CVAG 3	ns	NFF 1/ NFF 3	ns	AltF 1/ AltF 3	ns
CVAG 2/ CVAG 4	< 0,05	NFF 1/NFF 4	ns	AltF 1/AltF 4	ns
CVAG 3/ CVAG4	< 0,05	NFF 2/NFF 3	ns	AltF 2/ AltF 3	ns
Média dos PGF 1, 2 e 3/PGF 4	< 0,05	NFF 2/NFF 4	ns	AltF 2/ AltF 4	ns
		NFF 3/NFF 4	ns	AltF 3/ AltF 4	ns
DVAG 1/ DVAG 2	ns	DCF 1/ DCF 2	ns		
DVAG 1/ DVAG 3	ns	DCF 1/ DCF 3	ns		
DVAG 1/ DVAG 4	ns	DCF1/ DCF 4	ns		
DVAG 2/ DVAG 3	ns	DCF 2/ DCF 3	ns		

**-Fenologia do milho cultivado na fossa verde teste: 1; Fenologia do milho cultivado na fossa verde teste: 2; -Fenologia do milho cultivado na fossa verde teste: 3; Fenologia do milho cultivado na fossa verde controle: 4; CVAG: Comprimento da vagem; PGF: Peso dos grãos de feijão; DVAG: Diâmetro da vagem; NFF: Número de folhas de feijão; DCF: Diâmetro caulinar de feijão; AltF: Altura do feijão**  
**Fonte: Pesquisa direta**

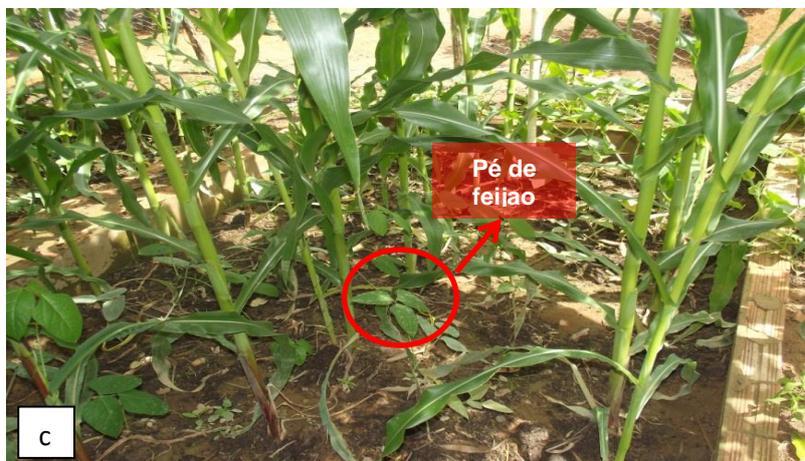
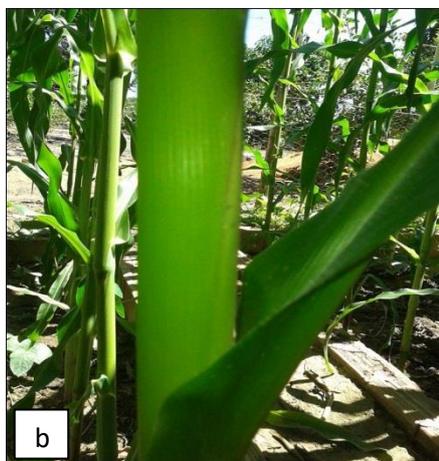


Figura 12 – (a) Comparativo das alturas do milho desenvolvidos nas fossas verdes teste e controle; (b) Diâmetro do caule do milho; (c) Consórcio dos cultivares de milho e feijão nas fossas; (d) Embonecamento das espigas de milho; (e) desenvolvimento do feijão; (f) Vagem de feijão  
Fonte: Autoria própria

## **6.7 Capacitação da comunidade Minguiriba para implantação e operação das Fossas Verdes.**

As principais ferramentas nesta fase foram os frequentes diálogos com os moradores, que foram bastante participativos em todos os momentos.

A proposta inicial foi realizar 02 (dois) encontros para explicar sobre o sistema fossa verde, sendo que, a primeira consistiu do relato dos moradores quanto aos principais cultivares que a comunidade teria interesse em plantar no sistema devido aos costumes locais, além de justificar os critérios de escolha da localidade, na comunidade Minguiriba, que seria contemplada com as quatro unidades fossas verdes.

A mobilização comunitária para apresentação das etapas de implantação das unidades fossas verdes aos moradores, ocorreu no dia 22 de março de 2015, no tradicional evento municipal da “Semana da água e da Árvore”, através da articulação da Secretaria do Meio Ambiente e Controle Urbano do Crato – CE juntamente com a “Associação dos pequenos produtores rurais do Sítio Minguiriba e Adjacências” (Figura 13). Essa etapa foi de suma importância para transmissão do conhecimento sobre a tecnologia social de Saneamento rural “fossa verde”. Foram abordados os procedimentos para a construção, princípio de funcionamento, operacionalidade, principais espécies a serem cultivadas, principais benefícios do reuso das águas cinzas, além da contribuição, decorrente dessa prática de reuso agrícola, para a preservação das águas subterrâneas, superficiais e para minimização das doenças de veiculação hídrica causadas pela exposição de esgotos à céu aberto.

Após a implantação das unidades fossas verdes pilotos, será realizado um terceiro momento com os moradores da comunidade, a fim de divulgar os resultados obtidos na pesquisa, corroborando com a construção do conhecimento.



**Figura 13 – Palestra para os moradores sobre a Tecnologia Social Fossa Verde, da Comunidade Minguiriba, Crato – CE. Fonte: Autoria própria**

## CONCLUSÃO

Da análise dos resultados obtidos nesta pesquisa verificou-se que:

- O consumo per capita de água, no período estudado, no mês de menor precipitação pluviométrica é bastante inferior ao preconizado pelo PIMC para suprir a demanda diária de água potável para beber e cozinhar;
- O índice de sustentabilidade da comunidade Minguiriba foi classificado como ruim;
- Quanto as caracterizações das amostras de solo das fossas verdes teste e controle, verificou-se que as águas cinzas alteraram significativamente as concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, manganês e troca de cátions das fossas verdes teste;
- Ao se analisar os resultados da fenologia e da produção dos cultivares milho e feijão, constatou-se que, de maneira geral, as fossas verdes teste proporcionaram um melhor desenvolvimento dos cultivares;
- Ante o exposto, pode-se concluir que a tecnologia social Fossa Verde pode contribuir com a sustentabilidade socioeconômica e ambiental de comunidades rurais em regiões semiáridas, uma vez que sua utilização contribui para o controle da poluição ambiental, reduz o consumo de água potável na agricultura, melhora as condições de produção do solo e propicia a agricultura de subsistência em períodos de estiagem;
- Outro aspecto a ser destacado refere-se a importância de se utilizar indicadores de sustentabilidade nas comunidades rurais para obtenção de informações que possam subsidiar ações governamentais que promovam a segregação social.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 3.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS, 2001. (Síntese Universitária, 54).

AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R. **Avaliação da Qualidade Bacteriológica das Águas de Cisternas: Estudo de Caso no Município de Petrolina - PE**. Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido. Campina Grande – PB, ABCMAC, 2001. Disponível em: <  
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CPATSA/9058/1/OPB132.pdf>>

APHA (American Public Health Association), (2005) **Standard Methods for the Examination 308 of Water and Wastewater**, 20th ed., New York, 1527p.

ARAÚJO, J. C. **Fossa Verde: Tecnologia social de saneamento rural**. Seminário de Divulgação no Cariri, abril de 2012.

ARAÚJO, J. C. **Biorremediação Vegetal do esgoto domiciliar em: “água limpa, saúde e terra fértil”**. Projeto, 2011

ARAÚJO, J. C. GÜNTER, A., BRONSTERT, A., 2006. **Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil**. Hydrological Sciences journal, v.51, n.1, pp. 157-170. DOI 10.1623/hysj.51.1.157

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. NBR 9649. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem (Revisado)**. Campina Grande – PB UFPB. trad: GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; DAMASCENO, F.A.V. 1991, 218 p.

BARBETTA, P.A. **Métodos Estatísticos**. 6-Amostragem. Referencia: Estatística Aplicada às Ciências Sociais, Cap. Ed. UFSC, 5ª Edição, 31p. 2002. Disponível em: <  
<http://www.inf.ufsc.br/~freitas/cursos/Metodos/2005-2/Aulas/A11-12/6%20-%20Amostragem%20pf.pdf>>. Acesso em 08/02/14.

BARRETO, R.C.S. **Políticas públicas e o Desenvolvimento Rural Sustentável no Estado do Ceará: Estudo de caso**. Fortaleza, 2004. Dissertação (Mestrado em Economia Rural), Universidade Federal do Ceará, Departamento de Economia Agrícola, 2004.

BARROSO, L. B; WOLFF, D.B. **Reuso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas**. Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.3, p. 225-236, jul/set. 2011.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação**. Monografia (Conclusão do Curso de Pós-graduação em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) – ISEAFGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília-GO, 2003.

CARVALHO, H.W.L.; SANTOS, M. X.; SILVA, A. . G.; CARDOSO, M.J. **Caatingueiro – Uma variedade de milho para o Semiárido nordestino**. Comunicado Técnico. EMBRAPA. Aracaju – SE. 2004.

CARVALHO, S. B. **Técnicas de uso sustentável da água: Sistemas alternativos de abastecimento de água em comunidades rurais na Chapada do Araripe – CE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável - PRODER), Universidade Federal do Ceará. Juazeiro do Norte - CE, 2013.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Possibilidades e alternativas do desenvolvimento rural sustentável**. In: Vela, Hugo. (Org.): Agricultura Familiar e Desenvolvimento Rural Sustentável no Mercosul. Santa Maria: Editora da UFSM/Pallotti, 2003. p.157-194.

CHACON, S. S. **O sertanejo e o caminho das águas: políticas públicas, modernidade e sustentabilidade no semi-árido**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007.

CHAMBERS, R. **Rural development: putting the last first**. London: Longman, 1983.

CMMAD - Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1992.

COELHO, C. F. **Impactos socioambientais e desempenho do Sistema Fossa Verde no Assentamento 25 de Maio, Madalena - CE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. 113 p.

ERIKSSON, E. et al ., 2001. **Characteristics of grey wastewater**. Urban Water. 2002 85-104

ESQUIVEL, C. E. G. **Evaluation of sustainability in dairy cattle production systems**. Thesis of Doctor, University of London, London, 1998. 193 pp.

ESREY, S.A.; GOUCH, J.; RAPAPORT, D.; SAWYER, R.; SIMPSON-HÉBERT, M.; VARGAS, J.; WINBLAD, V. **Saneamento Ecológico**, tradução da edição em inglês Ecological Sanitation, Agência Sueca de Cooperación para el desarrollo internacional – SIDA, Estocolmo, 1998.

FONSECA, A.R. **Tecnologias Sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública) Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Auroca - ENSP, Rio de Janeiro, 2008. 192p.

GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Dissertação de Mestrado em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande - MS, 2009.

GREY, S. R.; BECKER, N. S. C. Contaminant flows in urban residential water system. **Urban Water**. v. 4, n. 4, p. 331-346, 2002

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S. & SANTOS, H. F. (editores). **Reúso de água**. Barueri-SP: Manole, p.37-95, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável -Dimensão ambiental – Saneamento**. 2004. Disponível em:  
em:  
<[ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/indicadores\\_desenvolvimento\\_sustentavel/saneamento.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/indicadores_desenvolvimento_sustentavel/saneamento.pdf)>

IPECE. Instituto de Pesquisa Estratégica Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal do Crato**, 2012. Disponível em:<[www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/pbm-2011/Crato.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2011/Crato.pdf)>. Acesso em:05 set. 2012

KHAN, A. S. **Reforma Agrária Solidária e Modelo de Desenvolvimento Rural no Estado do Ceará**. Relatório Técnico/UFC, Fortaleza. p. 52 2002.

LEFF, E. **Saber ambiental. Sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis: PNUMA e Ed. Vozes, 2001.

MANCUSO, P.C.S; SANTOS, H.F. **Reúso de Água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de informações em Saúde Ambiental. ISBN 85-204-1450-8. 1ª edição. Barueri, SP: Manole, 2003.

MENDONÇA, E. S; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. Viçosa –MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005, 107 p.

MENDONÇA, L. A. R. 1; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F; MENDES FILHO, J. **Qualidade da água na Chapada do Araripe e sua vulnerabilidade**. *1st Joint World Congress on Groundwater*. 2011. Disponível em:  
<<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23041/15167>>

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Transversal: saneamento básico integrado às comunidades rurais e populações tradicionais: guiado profissional em treinamento**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: Ministério das Cidades, 2009. 88p.

NAVARRO, A. R. - **Caracterización de la agricultura sostenible. La Práctica de la Agricultura y Ganadería Ecológicas**. Comité Andaluz de Agricultura Ecológica, Sevilla. 2002. 357-371.

OLDENBURG, M.; NIEDERSTE – HOLLEMBERG, J.; BASTIAN, A.; SCHIRMER, G. **Nutriente utilization by urine separation: experience from the Lamdertsmühle Project**. In: II International Symposium on Ecological Sanitation, 07-11 april, 2003. Lübeck, Germany, Session C. 269-276.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta**. 2003. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Directrices sanitárias sobre el uso de aguas residuales em agricultura y acuicultura**. Genebra. 90p. (Serie Informes Tecnicos, 78), 1989.

PINHEIRO, L.S. **Proposta de Índice de priorização de áreas para Saneamento rural; Estudo de caso Assentamento 25 de Maio, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. 109 p.

PIVELLI, R.P; CORAUCCI FILHO, B.; MONTES, C.R; NASCIMENTO, C. W.A; MOTA, S; MARQUES JÚNIOR, J; OLIVEIRA, O; STEFANUTTI, R; BOTELHO, S. **Utilização de Esgoto tratado na Agricultura: Aporte de Água e Nutrientes**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428 p.

PNAD-Pesquisa Nacional de Amostras em Domicílios, 2009. Disponível em: <http://www.fazenda.gov.br/spe/publicacoes.pdf>. Acesso em: 16 out. 2012.

RABELO, L. S; LIMA, P.V.P.S. **Indicadores de Sustentabilidade: a possibilidade de mensuração do Desenvolvimento Sustentável**. REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA, Fortaleza, V.1, n.1, p 55-76, dez. 2007. ISSN 1982-5528.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RAMOS, H.M.M. Características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI. 2011.

RICHARDS, L. A. 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils**, U. S. Department of Agriculture Handbook, Vol. 60, Washington D. C., USA. p.160.

SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE. SIAB – **Sistema de Informação de Atenção Básica, consolidado das famílias cadastradas, Minguiriba, Crato-CE**. 2013.

SILVA, S.A; OLIVEIRA, R. **Manual de Análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande – PB: O Autor, 2001. 266p.

SOARES, S.R.A.; **Tecnologias de baixo impacto – A práxis da sustentabilidade**. in: CARBOGIM, J.B.P. (org). Projeto de Olho na Água: Estratégia para Sustentabilidade. Fortaleza, CE: Editora Fundação Brasil Cidadão, pp 48-53, 2009.

SHUVAL, H. Wastewater recycling and reuse as a water resource for mediterranean countries hygienic and technological aspects. In: **La collecte, le traitement et la réutilisation des eaux usées: Aspects sanitaires de la réutilisation des eaux usées**. II Conférence Méditerranéenne sur l'Eau. Rome, 1992. Disponível em: [http://www.oieau.fr/rome/france/expert/theme\\_3/](http://www.oieau.fr/rome/france/expert/theme_3/).

WIEGAND, M. C. et al. **Irrigação de micro-áreas com reúso de esgoto domiciliar utilizando tecnologia Fossa Verde em região semiárida.** In: II Reunião Sulamericana para Manejo e Sustentabilidade da Irrigação em Regiões Áridas e Semiáridas, 2011, Cruz das Almas- BA. Anais da II Reunião Sulamericana para Manejo e Sustentabilidade da Irrigação em Regiões Áridas e Semiáridas, 2011. v. 1. p. 149-152.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** v.1 Policy and regulatory aspects; v.2 Waster use in aagriculture. v.3 Wastewater and excreta use in equaculture. v.4 Excreta and greywater use in agriculture, 2006.

VAN LENGEM, J. **Manual do arquiteto descalço.** São Paulo: Ed. Empório do livro.736p.

VILELA, A.A; COSTA, M. R. **Agricultura Sustentável I: Conceitos.** Revista Ciências Agrárias. 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª edição. Belo Horizonte – MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 425p.