

QUALIDADE DE ÁGUA E COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM TECNOLOGIAS SOCIAIS (CISTERNA CALÇADÃO), IMPLANTADAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

WATER QUALITY AND RUNOFF COEFFICIENT IN SOCIAL TECHNOLOGIES (CISTERNA CALÇADÃO),
IMPLEMENTED IN THE SEMI-ARID REGION OF PERNAMBUCO

CALIDAD DEL AGUA Y COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN TECNOLOGÍAS SOCIALES
(CISTERNA CALÇADÃO) IMPLEMENTADAS EN EL SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Alexandre Carlos Araújo de Santana

Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

E-mail: alexandre.sustentat@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6717-5396>

Jocimar Coutinho Rodrigues Junior

Pós-doutorando do Programa de Engenharia Civil (PPGEC/UFPE), Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

E-mail: jocimar.junior@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4033-3243>

José Almir Cirilo

Professor do Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

E-mail: jose.cirilo@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8672-0898>

Sylvana Melo dos Santos

Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

E-mail: sylvana.santos@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-5301>

Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

E-mail: anderson.paiva@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3475-1454>

Resumo

O Semiárido brasileiro possui características climáticas e hidrogeológicas em que se dispõe a necessidade de implementar técnicas de armazenamento de água para suprimento de diversas demandas. Com isso, este trabalho tem como objetivo analisar o índice de escoamento superficial e a qualidade da água armazenada em cisternas calçadão, construídas no Semiárido de Pernambuco. Como área de estudo, foram selecionados dois municípios do agreste pernambucano, que fazem parte do Semiárido, Cumarú e São Caetano, sendo que o universo do estudo foi constituído por 4 agricultores(as) beneficiados(as) por cisternas calçadão e que já utilizam a tecnologia há mais de um ano. Para seleção das famílias/cisternas foi utilizada a técnica baseada na abordagem dos sujeitos estratégicos – informante-chave –. Para Análise dos parâmetros físico-químicos foram realizados acompanhamentos nas 4 cisternas estudadas, para obtenção dos volumes precipitados, foi instalado um pluviômetro e, para determinação do nível da água, foi disponibilizada uma régua graduada, possibilitando determinar o índice de escoamento superficial (C). Com relação aos exames microbiológicos, foi detectado coliformes totais e E. coli em todos os pontos de coleta, contudo, os parâmetros químicos ficaram dentro dos padrões de potabilidade. Em relação ao acúmulo de água na cisterna, o coeficiente de escoamento superficial (C) da área de captação é determinante para o total de água armazenada, sendo encontrado um valor médio foi 0,50. Portanto, percebe-se que a cisterna calçadão é uma tecnologia viável, entretanto, para o uso da água captada para consumo humano, é necessário um tratamento prévio.

Palavras-chave: Água Pluvial; Reservatório; Parâmetros de Qualidade; Índice de escoamento Superficial.

Abstract

The Brazilian semi-arid region has climatic and hydrogeological characteristics that require the implementation of water storage techniques to meet various demands. Thus, this work aims to analyze the rate of surface runoff and the quality of water stored in calçadão cisterns, built in the semi-arid region of Pernambuco. Two municipalities of the semi-arid region of Pernambuco, Cumarú and São Caetano, were selected as the study area. The universe of the study consisted of 4 farmers benefited by "calçadão" cisterns and who had been using the technology for more than a year. For the selection of the families/cisterns the technique based on the strategic subject approach - key informant - was used. For the analysis of the physical and chemical parameters, monitoring was carried out in the 4 monitored cisterns. A rain gauge was installed to obtain the precipitation volumes, and a graduated ruler was made available to determine the water level, making it possible to determine the surface runoff index (C). Regarding microbiological tests, total coliforms and E. coli were detected in all collection points; however, the chemical parameters were within potability standards. Regarding the accumulation of water in the cistern, the coefficient of surface runoff (C) of the catchment area is determinant for the total amount of water stored, with an average value of 0.50. Therefore, it can be seen that the "calçadão" cistern is a viable technology, however, for the use of the water captured for human consumption, prior treatment is necessary.

Key words: Stormwater; Reservoir; Quality Parameters; Index of Surface Runoff.

Resumen

El Semiárido brasileño presenta características climáticas e hidrogeológicas que evidencian la necesidad de implementar técnicas de almacenamiento de agua destinadas a satisfacer diversas demandas. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el índice de escorrentía superficial y la calidad del agua almacenada en cisternas tipo calçadão, construídas en el Semiárido del estado de Pernambuco. Como área de estudio, se seleccionaron dos municipios del agreste pernambucano —Cumarú y São Caetano—, ambos localizados dentro de la región semiárida. El universo de estudio estuvo constituído por cuatro agricultores(as) beneficiarios(as) de cisternas calçadão que ya utilizan la tecnología desde hace más de un año. Para la selección de las familias y de las cisternas, se empleó la técnica basada en la aproximación de sujetos estratégicos —informantes clave—. Para el análisis de los parámetros físico-químicos se realizaron acompañamientos en las cuatro cisternas estudiadas. Con el fin de obtener los volúmenes de precipitación, se instaló un pluviómetro, y para la determinación del nivel del agua se dispuso una regla graduada, lo que permitió calcular el coeficiente de escorrentía superficial (C). En cuanto a los análisis microbiológicos, se detectaron coliformes totales y Escherichia coli en todos los puntos de muestreo; no obstante, los parámetros químicos se mantuvieron dentro de los límites de potabilidad establecidos. Respecto al almacenamiento de agua en las cisternas, el coeficiente de escorrentía superficial (C) del área de captación se mostró como un factor determinante para el volumen total almacenado, registrándose un valor medio de 0,50. Por tanto, se concluye que la cisterna calçadão constituye una tecnología social viable; sin embargo, para el uso del agua captada con fines de consumo humano, se requiere un tratamiento previo.

Palabras clave: Agua pluvial; Reservorio; Parámetros de calidad; Índice de escorrentía superficial.

1. Introdução

O Semiárido brasileiro apresenta características climáticas e hidrogeológicas peculiares, marcadas por chuvas concentradas em poucos meses do ano, elevada taxa de evapotranspiração e solos com baixa capacidade de retenção hídrica. Desde a incidência de grandes períodos de seca na região, diversas ações sistemáticas foram implementadas pelo poder público, com foco no desenvolvimento de políticas voltadas para o provimento de água, a fim de mitigar os impactos da escassez hídrica sobre a população e as atividades produtivas (Lacerda et al., 2022). Nesse contexto, foram introduzidas técnicas que demandam estratégias eficazes para o armazenamento de água durante os períodos chuvosos, permitindo minimizar os efeitos adversos das estiagens prolongadas (Pádua, 2013).

A concepção de desenvolvimento sustentável assume maior complexidade quando analisada sob a ótica das particularidades do Semiárido e da população rural que nele reside. Embora existam cidades de pequeno e médio porte com uma população urbana significativa, os desafios relacionados ao abastecimento hídrico são mais evidentes nas zonas rurais, onde a população encontra-se dispersa e a viabilidade econômica da implementação de redes encanadas é limitada (Nóbrega e Musse, 2019).

Diante desse cenário, a principal estratégia adotada pelo poder público para ampliar o acesso à água em comunidades rurais tem sido a construção de cisternas para captação e armazenamento de água pluvial. Nesse contexto, foram instituídos programas como o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2), ambos vinculados ao Programa Água Para Todos, que visam garantir o acesso não apenas à água para consumo humano, mas também para atividades agropecuárias, contribuindo para a segurança hídrica e alimentar das famílias beneficiadas (MDS, 2015; Gnaldinger, 2000).

Com o intuito de viabilizar a oferta de água para a produção de alimentos e a dessedentação animal, tem-se incentivado a construção de cisternas do tipo calçadão. No âmbito dos programas governamentais, a concessão desse tipo de cisterna é, em regra, condicionada à existência de outra estrutura destinada ao armazenamento de água para consumo humano, geralmente a cisterna tradicional de 16 mil litros.

A cisterna calçadão, com capacidade de 52 mil litros, constitui uma adaptação da cisterna tradicional de 16 mil litros. Sua construção ocorre nas proximidades da residência e utiliza a água de chuva captada em um calçadão de 200 m². Essa tecnologia permite que o reservatório atinja sua capacidade máxima de armazenamento em locais onde a precipitação média anual gira em torno de 300 mm (Santos, 2013). O conceito de captação de água de chuva para fins produtivos já era sugerido nos primeiros estudos sobre cisternas, conforme registrado por Silva e Porto (1982).

O funcionamento da cisterna calçadão inicia-se com a precipitação pluviométrica sobre a área de captação de 10 m x 20 m, constituída por um calçadão impermeabilizado, construído com placas de 1 m² e inclinações de 2% na horizontal e 1% na vertical. A água esco superficialmente para um decantador, cuja função é reter sedimentos, como areia e pequenos fragmentos de rochas. O decantador, localizado na porção mais baixa da calçada, possui estrutura cilíndrica com 40 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade, onde as partículas mais densas se depositam no fundo, permitindo que a fração hídrica menos contaminada siga para a cisterna. O transporte da água do decantador para o reservatório ocorre por meio de tubulação de 100 mm de diâmetro, onde permanece armazenada até sua utilização para fins produtivos.

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo avaliar a eficiência do sistema de captação e armazenamento de água em cisternas calçadão de 52 mil litros, construídas no Semiárido pernambucano, a partir da análise do índice de escoamento superficial e da qualidade da água armazenada. Pretende-se, assim, verificar a adequação dessa tecnologia às condições climáticas e ambientais da região, contribuindo para a compreensão de sua funcionalidade e do potencial de ampliação do acesso à água para fins produtivos e de dessedentação animal. Dessa forma, a investigação busca subsidiar políticas públicas voltadas para o aprimoramento da gestão hídrica em áreas de escassez, fomentando a adoção de soluções sustentáveis para a convivência com a seca.

2. Material e métodos

Como área de estudo, foram selecionados dois municípios do agreste pernambucano, que fazem parte da região do Semiárido, Cumaru e São Caetano (Figura 1). O município de Cumaru está localizado na região de desenvolvimento do Agreste Setentrional, distando aproximadamente 132 km da capital do Estado, Recife. Possui extensão territorial de 292,242 km² e conta com uma população total de 17.183 habitantes. Destes, 8.039 (46,8%) encontram-se na área urbana, enquanto 9.144 (53,2%) residem na área rural (IBGE/CENSO, 2010). A sede do município tem uma altitude aproximada de 443 m. O clima é do tipo Bs'h da classificação de Köppen, árido ou Semiárido, muito quente, com chuvas no outono e inverno. O período normal de chuva inicia-se em fevereiro/março e pode estender-se até agosto. Dados históricos de precipitação revelam uma média anual de 820,50 mm, com um máximo de 1.431,70 mm e um mínimo de 449,70 mm. As temperaturas variam, acompanhando a época das precipitações pluviométricas. A média anual fica em torno de 25°C (CPRM, 2005).

O município de São Caetano está localizado na região de desenvolvimento do Agreste Central, distando aproximadamente 148 km da capital do Estado, Recife. A área municipal ocupa

372,4 km² e representa 0,38% de Pernambuco. De acordo com o censo 2010 do IBGE, a população residente total é de 35.274 habitantes sendo 27.079 (76,7%) na zona urbana e 8.195 (23,3%) na zona rural. A sede do município tem uma altitude aproximada de 552 m. O clima é do tipo Tropical Chuvoso com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro. Dados históricos de precipitação, dos últimos 14 anos, revelam uma média anual de 360,31 mm, com um máximo de 624,2 mm e um mínimo de 133,5 mm (CPRM, 2005). A Figura 1 revela a localização dos municípios em questão.

O universo do estudo foi constituído por 4 agricultores(as) beneficiados(as) por cisternas calçadão e que já utilizam a tecnologia há mais de um ano. Para seleção das famílias/cisternas foi utilizada a técnica baseada na abordagem dos sujeitos estratégicos – informante-chave –, tendo em vista a importância de suas experiências vivenciadas na decisão, formulação, implantação e implementação de práticas de utilização da água das cisternas. O conceito de sujeito estratégico que será usado neste estudo, ancora-se nas ideias formuladas por Minayo (2006), que, assim, considera informantes particularmente estratégicos para revelar a realidade concreta em estudo.

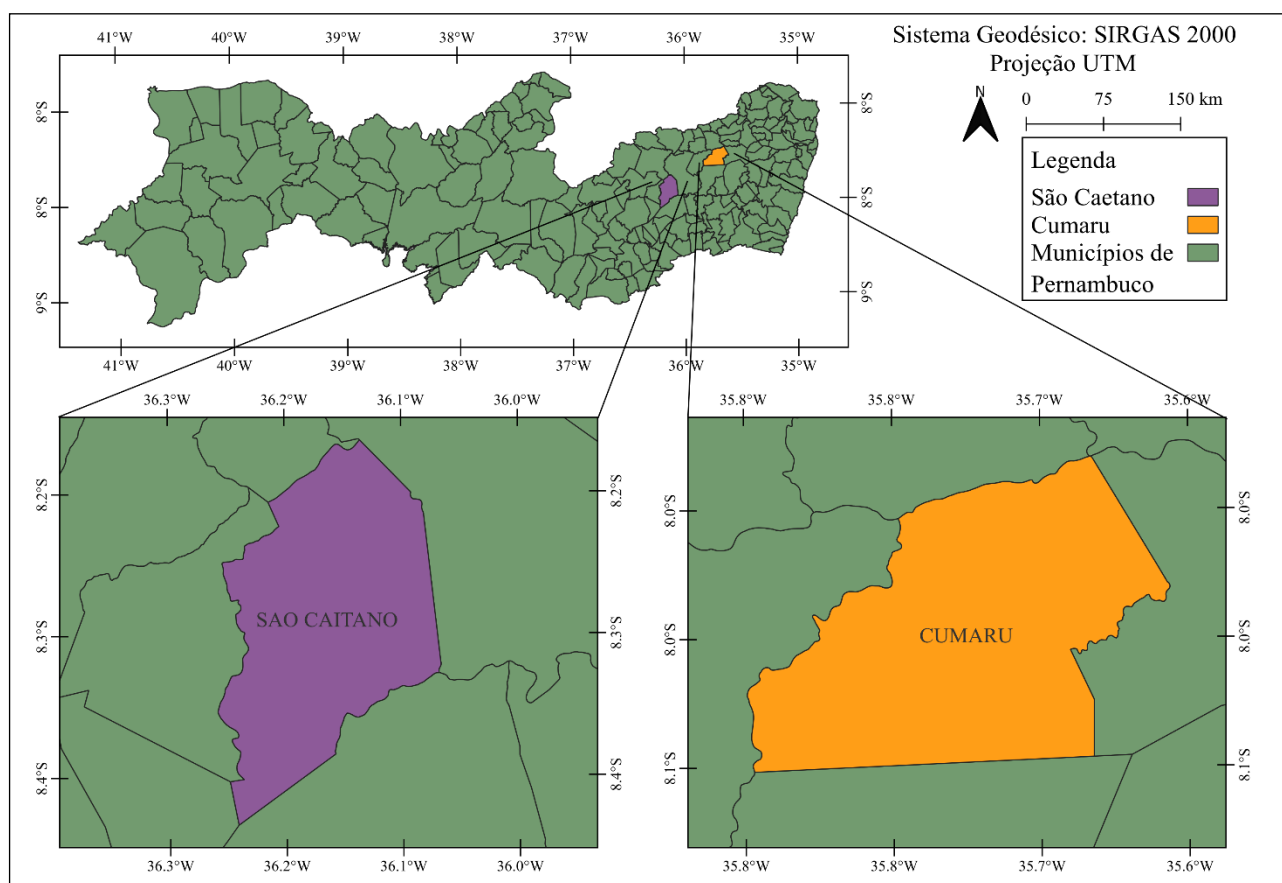


Figura 1. Localização dos municípios de São Caetano e Cumaru.

Para Análise dos parâmetros físico-químicos (Tabela 1) foram realizados em cada uma das 4 cisternas acompanhadas, 3 campanhas com intervalo médio de 90 dias entre as coletas de água. Sendo a 1ª no início do período crítico de escassez (03/11/14), a 2ª no fim da estação seca

ISSN: 2236-837X

(04/02/15) e a 3ª na estação chuvosa (07/05/15). As coletas foram realizadas respeitando os mesmos procedimentos que os moradores utilizam para retirar a água da cisterna, sendo nas cisternas 1, 2 e 4 um balde e na cisterna 3 uma mangueira interligada a caixa d'água, que era abastecida pela água da cisterna através de uma bomba centrífuga. Após a retirada da água da cisterna pelo agricultor, esta foi transferida para recipientes esterilizados cedidos pelo laboratório que realizou as análises. As amostras foram transportadas ao Laboratório realizador das análises, AGROLAB, localizado no bairro de Casa Forte/Recife, o tempo entre coleta e entrega no laboratório levou em média 7 horas.

Os parâmetros observados foram analisados de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Cabe ressaltar que no caso dos parâmetros de coliformes totais e *Escherichia Coli*, a primeira análise verificou a presença ou ausência de bactérias, já nas demais também foi realizada a contagem de bactérias. Todos os parâmetros avaliados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros avaliados.

Parâmetro	Und	Método
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L	2320 B
Condutividade	µS/cm	2510 B
Cor aparente	mg Pt-Co/L	2120 B
Cloretos	mg Cl-/L	4500 Cl B
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	2340 C
Salinidade	‰	2520 B
Sólidos dissolvidos totais (TDS)	mg/L	2440 C
Turbidez	UNT	2130 B
Coliformes totais	NMP/100 mL	9223 B
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100 mL	9223 B

Fonte: Os Autores.

Para obtenção dos volumes precipitados, foi instalado um pluviômetro, com escala de 0 – 150 mm e divisão de 2 mm, ao lado da área de captação (calçadão). Para determinação do nível da água dentro da cisterna, foi disponibilizada uma régua graduada com dimensão de 2 (dois) metros e divisões de 1 cm, Figura 2. Conforme treinamento realizado, o agricultor aferia o nível de água nos respectivos equipamentos e registrava os dados no caderno. Estas anotações foram realizadas sempre no mesmo horário do dia, contudo eram apenas anotadas quando ocorriam chuvas e ou, a família retirava água da cisterna. Os dados analisados foram obtidos ao longo de 10 meses, iniciados a partir de 02 de julho de 2014 a 30 de abril de 2015, no qual a própria família realizou a anotação da precipitação e do nível diário de água dentro da cisterna, para o acompanhamento dos volumes armazenados e remanescente (após as retiradas).



Figura 2. Agricultor com régua para aferir nível de água da cisterna e pluviômetro.

De acordo com Brito *et al.* (2010), uma cisterna eficiente implica no acúmulo de 52 mil litros de água para uma precipitação de 400 mm, ou seja, para cada 1 mm de chuva, deveria reter 130 L (65%). Essa diferença deve-se a perdas que existem, no próprio evento de chuva e ao longo do tempo de acordo com a variabilidade das precipitações.

Para determinar o índice de escoamento superficial (C) e avaliar a eficiência da captação da cisterna calçadão foram analisados os valores de quantidade de água escoada do calçadão para a cisterna durante os eventos pluviométricos. O coeficiente C é a razão entre volume acumulado na cisterna (G) e o volume precipitado no calçadão ($V_{\text{precipitado}}$), conforme Equação 1. Considerando a área da seção da cisterna constante ao longo de sua altura, o volume G é igual a multiplicação da área da seção interna da cisterna (A_{cisterna}) pelo incremento de altura (h). Com a área de captação do calçadão de placas ($A_{\text{calçadão}}$) e a precipitação (P), foi calculado o volume precipitado ($V_{\text{precipitado}}$), Equação 2.

$$C = G[\text{L}] / V_{\text{precipitado}}[\text{L}] \quad (1)$$

$$V_{\text{precipitado}}[\text{L}] = A_{\text{calçadão}}[\text{m}^2] * P[\text{mm}] \quad (2)$$

Em pesquisa de Brito e Silva (2014), considera-se que apenas valores de índices pluviométricos superiores a 10 mm seriam relevantes, pois valores inferiores a este não resultavam em acúmulo de água na cisterna calçadão. No estudo citado, chegou-se aos seguintes resultados para eficiência de captação e armazenamento de água 67% em 2010, 77% em 2011 e 66% para o ano de 2012.

3. Resultados e discussão

Qualidade de água

A seguir, são apresentados, por meio de gráficos, os parâmetros físico-químicos analisados (cor aparente, turbidez, alcalinidade total, condutividade elétrica, cloretos, dureza total e sólidos dissolvidos totais), bem como a avaliação bacteriológica das amostras de água armazenadas em cisternas rurais ao longo das três campanhas de coleta.

Embora as cisternas do tipo calçadão sejam, em princípio, destinadas prioritariamente à produção de alimentos e à dessedentação animal, os resultados desta pesquisa indicam que diversos beneficiários utilizam essa água para consumo humano. Nesse contexto, a análise da qualidade da água, com ênfase nos parâmetros estabelecidos para consumo humano, torna-se essencial. Caso os padrões de potabilidade não sejam atendidos, o consumo sem a devida orientação pode acarretar sérios riscos à saúde, incluindo enfermidades diarreicas de natureza infecciosa entre os usuários das cisternas. Dessa forma, a avaliação da qualidade da água é fundamental para a proteção da saúde pública (SILVA et al., 2010).

No que se refere à dessedentação animal, a legislação brasileira, por meio da Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), estabelece que a água utilizada para esse fim deve ser, no mínimo, de classe 3. No entanto, diversos estudos recomendam que a qualidade da água destinada ao consumo animal atenda aos mesmos parâmetros exigidos para o consumo humano (AMARAL, 2001).

Cor aparente

Em relação à cor aparente todas as amostras apresentaram-se dentro dos limites estabelecido pela legislação brasileira (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011). A média de todas as cisternas foi igual a 5 mg Pt-Co/L e em nenhum caso superior ao permitido pela legislação (15 mg Pt-Co/L) (Figura 3). Esses resultados foram similares aos encontrados por Lima (2012) ao analisar a cor aparente da água em cisternas de 16 mil litros que utilizaram telhados como área de captação, onde foi encontrado um valor médio de 6 mg Pt-Co/L. Porém, alguns valores chegaram a apresentar 28 mg Pt-Co/L, contudo não ultrapassaram 8,1% do total analisado. Ao passo que Santos (2013), ao acompanhar cisternas também com área de captação por telhado, encontrou valores que ultrapassaram a legislação em 27,8% das cisternas.

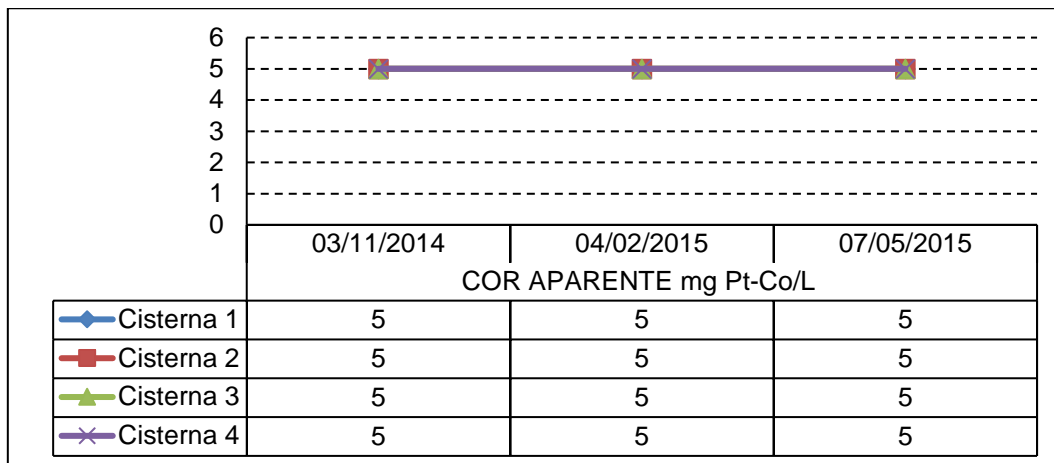


Figura 3. Variação da cor aparente durante as campanhas nas 4 cisternas.

Turbidez

Os valores individuais e médios apresentados para turbidez permaneceram constantes nas cisternas durante todo o experimento, não ultrapassando 0,2 UNT (Figura 4) e dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela legislação brasileira, que é de até 1,0 UNT (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011). Valores também verificados por Blackburn *et al.* (2005), que ao analisar água de cisternas com áreas de captação de telhado e calçada afirmaram que “a água de cisterna não possui problemas relacionados à turbidez”. Resultados similares foram encontrados por Lima (2012), mesmo ao observar que os sólidos em suspensão, restos de animais e plantas podem influenciar tanto na coloração quanto na turbidez. Fato também relatado por Macêdo (2004), que não encontrou em suas análises valores maiores que o permitido pela legislação brasileira.

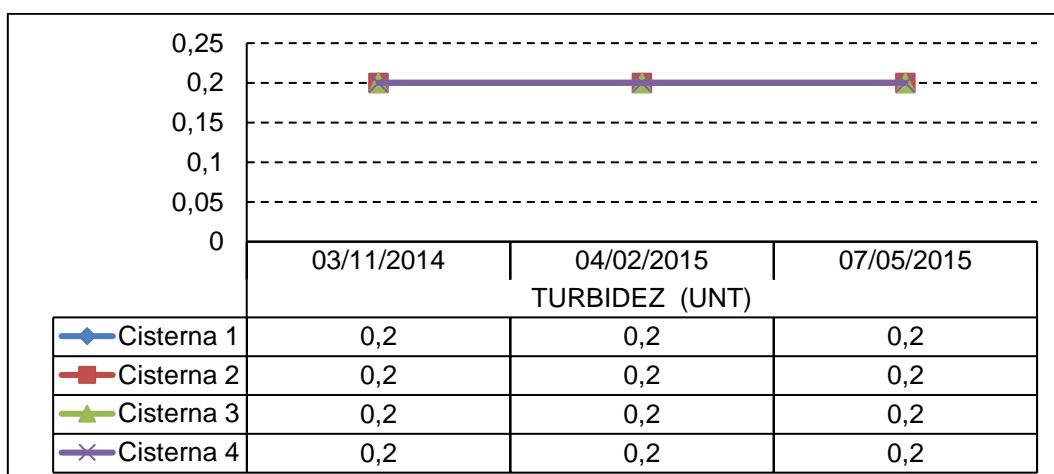


Figura 4. Variação da turbidez durante as campanhas nas 4 cisternas.

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica média foi de 196 $\mu\text{S/cm}$, apresentando valores máximos de 245 $\mu\text{S/cm}$ e valores mínimos não inferiores a 152 $\mu\text{S/cm}$ (Figura 5). Esses valores são menores que os apresentados por Cunha (2014) que ao analisar esse parâmetro em 25 cisternas com área de captação através de telhados, localizadas no Semiárido paraibano, encontrou um valor médio de 201 $\mu\text{S/cm}$. Lima (2012) pesquisando 7 cisternas no Semiárido pernambucano, chegou ao valor médio de 154,6 $\mu\text{S/cm}$. As diferenças nos valores de condutividade elétrica encontradas podem estar relacionadas às diferentes médias de idades das cisternas pesquisadas. A legislação não determina valores máximos e mínimos para esse parâmetro analisado.

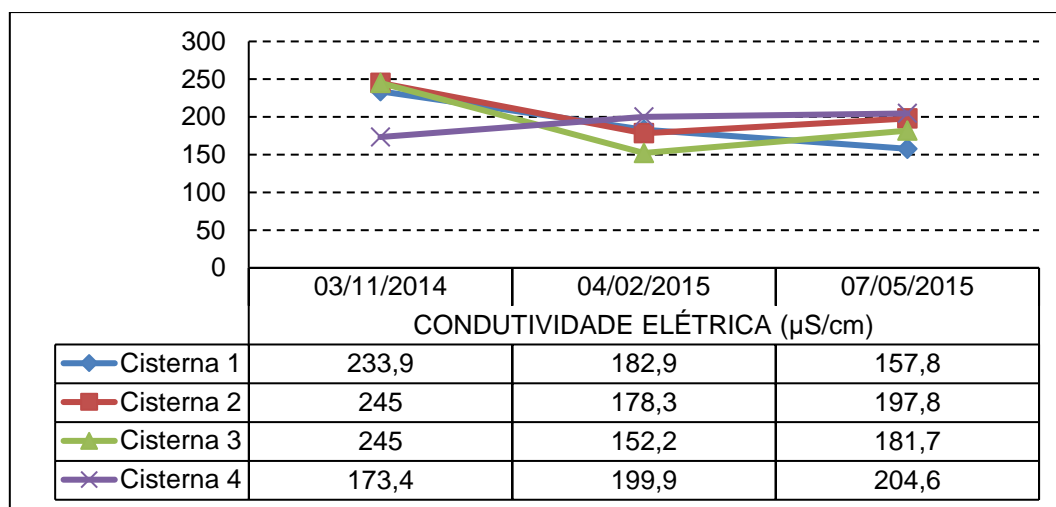


Figura 5. Variação da condutividade elétrica durante as campanhas nas 4 cisternas.

Sólidos totais dissolvidos - STD

Neste trabalho foram obtidos valores médios de 117,0 mg/L para STD (Figura 6), bem abaixo dos valores máximos estabelecidos na Portaria n° 2914/2011 do MS, de 1.000 mg/L. Os resultados dialogam com os dados obtidos por Lima (2012), que encontrou um valor de 97 mg/L, bem como com Cunha (2014), que obteve um valor médio de 100 mg/L.

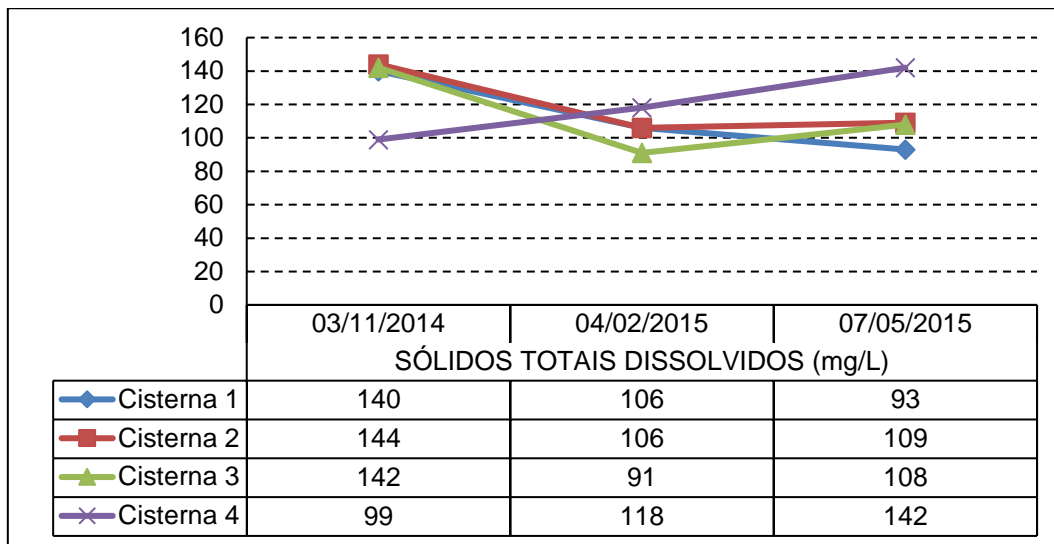


Figura 6. Comportamento dos sólidos totais dissolvidos durante as campanhas nas 4 cisternas.

Vale salientar que a determinação de sólidos totais dissolvidos (STD) na água se dá pela quantificação de todas as impurezas nela dissolvida, com exceção dos gases. Cálcio, magnésio, sódio, cloro, bicarbonato e enxofre são os minerais que mais contribuem para o nível de STD, pelo qual se pode primariamente determinar a qualidade química da água (MACEDO, 2004). Em experimentos zootécnicos com criação de galinhas, constatou-se que à medida que o valor de STD aumenta, a qualidade piora, ocorrendo a redução do consumo de água pelas aves e causando prejuízos no desempenho do desenvolvimento dos animais (NRC, 1974).

Alcalinidade total

Apesar de que a legislação brasileira não estabelecer valores de referência para alcalinidade, os dados médios obtidos foram considerados bons, 77,03 mg CaCO₃/L com valores máximos não superiores a 161 e mínimos de 40 mg CaCO₃/L (Figura 7). Estes resultados foram inferiores a outros estudos que encontraram valores médios de 103 mg CaCO₃/L (LIMA, 2012). Faz-se saber que a alcalinidade não tem significado sanitário para água potável, contudo em elevadas concentrações pode influir no sabor, atribuindo amargor ao líquido (VON SPERLING, 2005).

O pico apresentado para a cisterna 3 no mês de maio (161 mg CaCO₃/L), pode ter sido resultante da decomposição de matéria orgânica dentro da cisterna, provinda de um possível carregamento de nutrientes depositados sobre o calçadão antes da ocorrência de um evento pluviométrico resultando em escoamento de água contaminada para o reservatório.

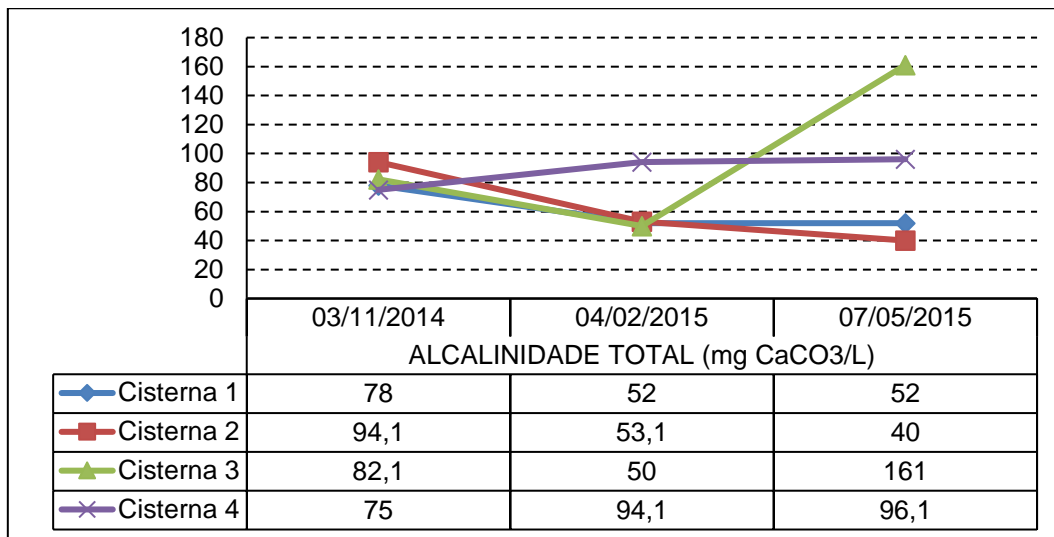


Figura 7. Variação da alcalinidade total durante as campanhas nas 4 cisternas.

Dureza

Obteve-se um valor médio de 68 mg CaCO₃/L para dureza, apresentando uma certa homogeneidade durante as campanhas, encontrando valores mínimos de 46,8 e máximos de 85,1 mg CaCO₃/L (Figura 8). Estando os valores observados muito abaixo do valor máximo (500 mg CaCO₃/L) estabelecido na Portaria n° 2914/2011 do MS. Esse valor médio de 68 mg CaCO₃/L aproxima-se do encontrado por Lima (2012) de 45,6 mg CaCO₃/L.

Ao analisar a dureza sob ótica zootécnica para dessedentação de aves, Curtis *et al.* (2001) explicitam que a maioria dos autores sugerem um limite máximo deste parâmetro de até 180 mg/L de CaCO₃. Portanto os resultados encontrados permitem a utilização da água para estes fins, sem prejuízos a criação de galinhas, sendo estas uma das culturas mais comuns nas residências dos usuários das cisternas.

Vale salientar que a dureza da água se refere, principalmente, à concentração de íons de cálcio e magnésio em solução, formando precipitados devido aos carbonatos de cálcio e magnésio. Em determinados níveis, a dureza causa sabor desagradável à água, também influencia a capacidade do sabão e do detergente formar espuma, fator que pode interferir nas atividades domésticas, visto que várias famílias utilizam a água do calçadão tanto para banharem-se quanto para realizar a limpeza da casa.

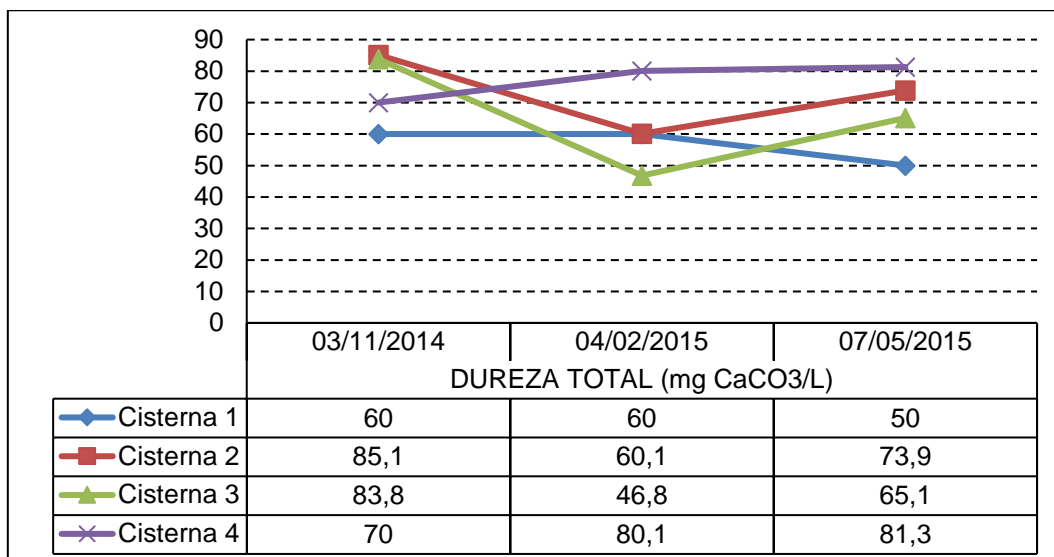


Figura 8. Variação da dureza total durante as campanhas nas 4 cisternas.

Cloreto

Obteve-se valores médios de 11,16 mg Cl-/L para cloretos, com valores que tiveram uma alta amplitude, variando de 1 a 36 mg Cl-/L (Figura 9). Mesmo com esta amplitude de variação, os valores apresentaram-se bem abaixo dos valores máximos estabelecidos na Portaria n° 2914/2011 do MS, de 250 mg Cl-/L.

Lima (2012) obteve o valor médio de 7,6 mg Cl-/L para cloretos, resultado este bem próximo aos encontrados neste estudo. Ao analisar a água das cisternas acompanhadas à luz do parâmetro cloreto, pode-se afirmar que as mesmas estariam aptas ao consumo humano.

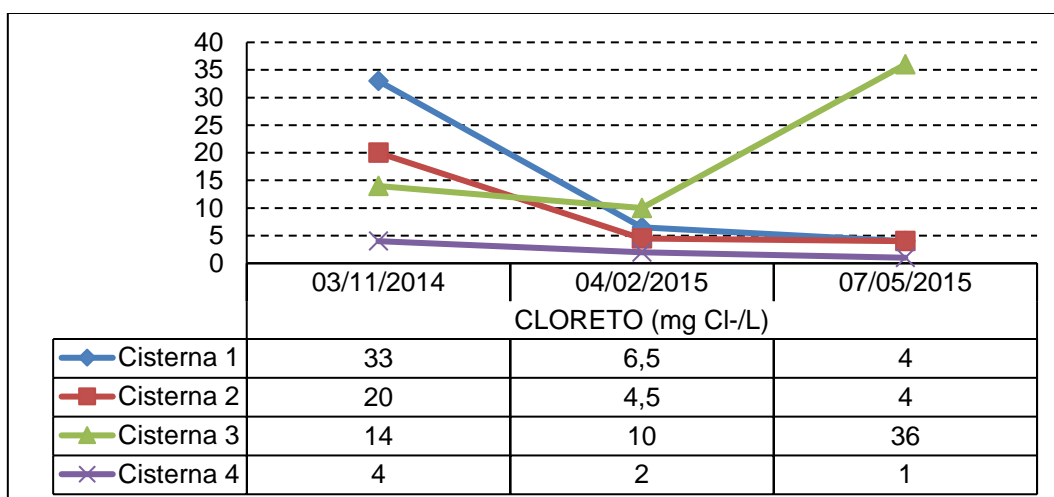


Figura 9. Variação de cloreto durante as campanhas nas 4 cisternas.

Segundo Mouchrek (2003), os cloretos podem ser encontrados em águas naturais, mas em níveis baixos, e em altas concentrações conferem sabor salgado à água, podendo significar

ISSN: 2236-837X

infiltração de águas residuárias e de urina de pessoas e animais. Ao observar a grande amplitude de valores de cloreto para uma mesma cisterna, a saber: Cisterna 1, 1ª campanha - 33 mg Cl-/L e 3ª campanha - 4 mg Cl-/L; e cisterna 3, 1ª campanha 14 mg Cl-/L e 3ª campanha - 36 mg Cl-/L, deve-se constatar que a área de captação de água das cisternas em estudo é um calçadão construído a nível do solo e sem proteção para entrada de animais, esse fato leva a crer que tal amplitude pode ser atribuída à possibilidade do calçadão ter sido contaminado com urina animal ou até mesmo humana (em virtude da presença contínua de crianças nas proximidades), momentos antes de haver uma precipitação que culminou em escoamento de água para a cisterna, resultando desta forma em um valor maior para a presença de cloreto.

Salinidade

Diante dos dados obtidos para salinidade (Figura 10), observa-se que os valores variaram entre 0,93 e 0,14‰, gerando uma média de 0,12‰. Segundo a resolução CONAMA Nº 357/2005, no capítulo I, art. 2º, inciso I, indica que a água doce deve apresentar valor igual ou inferior a 0,50‰, para o consumo humano. Levando em consideração os dados obtidos neste estudo e comparando com Cunha (2014), que obteve uma média de salinidade de 0,09‰, pode-se afirmar que geralmente as águas represadas no interior das cisternas não apresentam teores elevados de salinidade.

Essa situação ocorreu possivelmente devido às formas de captação (telhado ou calçadão) da água e a sua fonte, que a priori são provenientes de precipitações pluviométricas, salvo casos em que o beneficiário coloca na cisterna águas provenientes de barreiros ou pequenas barragens que podem conter um teor salino um pouco maior em decorrência do contato com o solo. Esse fato foi detectado neste estudo, em duas cisternas (1 e 2), porém como pode ser observado na Figura 11, não influenciou em uma alteração de níveis de sal na água quando comparado com as outras cisternas observadas. Desta forma, nenhum dos reservatórios obteve valores fora dos limites estabelecidos pelo CONAMA.

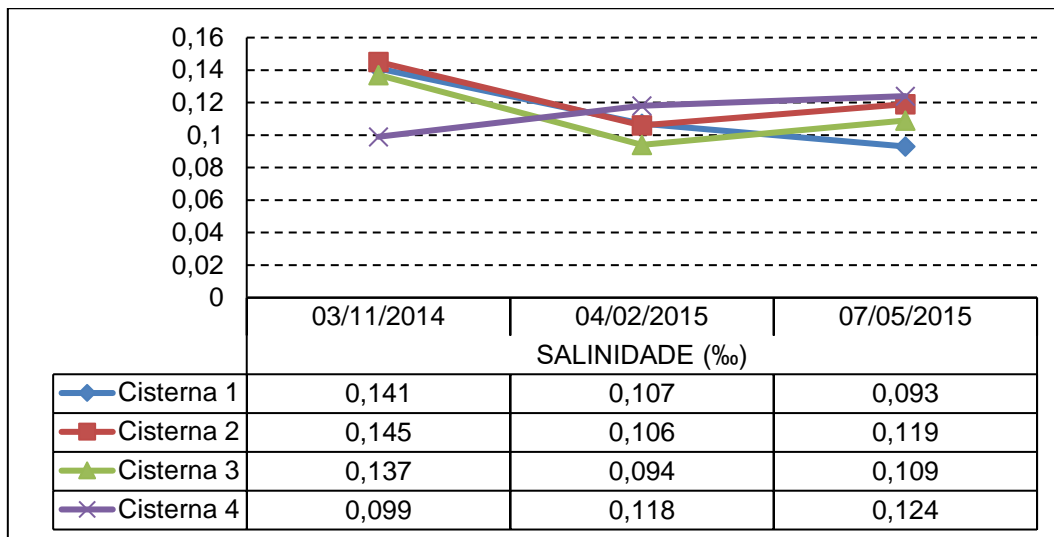


Figura 10. Variação da salinidade durante as campanhas nas 4 cisternas.

Bacteriológica

As análises bacteriológicas no estudo em questão, foram feitas através de 2 métodos diferentes. Durante a primeira campanha de análise de água, o intuito foi de aferir a presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*. Após verificado a presença de ambas em todas as cisternas, as demais campanhas foram feitas realizando a contagem de bactérias.

Com relação aos exames microbiológicos, foi detectada presença de coliformes totais e *E. coli* em todos os pontos de coleta e em todo o período de monitoramento (Tabela 2). Resultados idênticos aos de Blackburn *et al.* (2005) que monitoraram tanto cisternas com área de captação por telhado quanto por calçada e os de Lima (2012) que acompanhou 5 cisternas com área de captação por telhado e detectaram em todas elas coliformes totais e *E. coli*. Portanto, pode-se afirmar que, geralmente, as águas represadas no interior das cisternas encontram-se em desconformidade com a legislação brasileira (MINISTERIO DA SAÚDE, 2011), apresentando teores elevados tanto de coliformes totais quanto de *E. coli*, em ambas às formas de captação (telhado ou calçada).

Tabela 2. Parâmetros bacteriológicos monitorados durante as campanhas nas 4 cisternas.

Campanha	CISTERNA 1		CISTERNA 2		CISTERNA 3		CISTERNA 4	
	Coliformes Totais (em 100 mL)	<i>E. coli</i> (em 100 mL)	Coliformes Totais (em 100 mL)	<i>E. coli</i> (em 100 mL)	Coliformes Totais (em 100 mL)	<i>E. coli</i> (em 100 mL)	Coliformes Totais (em 100 mL)	<i>E. coli</i> (em 100 mL)
1ª - 03/11/2014	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença	Presença
2ª - 04/02/2015	9,2 x 10 ²	7,8	> 1,6 x 10 ³	9,2 x 10 ²	> 1,6 x 10 ³	9,2 x 10 ²	5,4 x 10 ²	5,4 x 10 ²

ISSN: 2236-837X

3 ^a - 07/05/2015	9,2 x 10 ²	3,5 x 10 ²	1,6 x 10 ³	49	5,4 x 10 ²	79	2,8 x 10 ²	23
Valor máximo permitido: ausência (Anexo 1. Port. 2914/11 Ministério da Saúde).								

Fonte: Os Autores.

Ao observar os valores apresentados na Tabela 2, nota-se uma variação grande na contagem de coliformes, tanto os totais quanto E. coli. É importante ressaltar que por ser uma análise muito sensível, pode ter havido contaminação durante a coleta, mesmo que se tenham adotado todas as recomendações técnicas para a realização deste procedimento, ou mesmo da susceptibilidade da contaminação no local.

O fator mais preocupante em relação aos coliformes, não se trata dos valores encontrados por si só, porém da constatação realizada junto às famílias usuárias da água das cisternas, que em geral fazem o consumo desta água para beber, sem qualquer tratamento prévio. Ao observar que a água é inodora, insípida e incolor (comprovados através das análises das Figuras 4 a 11), acreditam que ela está livre de qualquer impureza e a utilizam diariamente para todas as finalidades, inclusive para beber.

Os resultados bacteriológicos encontrados dialogam, com as recomendações propostas por Amaral (2001), onde propõe-se que o monitoramento da qualidade da água deve ser realizado periodicamente, em estação seca e chuvosa, pois o processo de contaminação é dinâmico, podendo inclusive ser intermitente, como o observado em todos os estudos que analisam águas de cisternas de placas construídas no Semiárido.

Ao analisar as causas de contaminação, Blackburn *et al.* (2005) citando Neto (2003), concluíram que a contaminação microbiológica na atmosfera é muito rara, e que, portanto, a qualidade e a segurança sanitária das águas de cisternas dependem, principalmente, das condições da superfície de captação e da proteção sanitária do tanque.

Coeficiente de escoamento superficial para captação de chuva (C)

Para compreender melhor os fatores que influenciam a captação e o armazenamento da água na cisterna, é fundamental aprofundar os estudos sobre os elementos que afetam sua eficiência. A quantidade de água acumulada resulta da interação de diversas variáveis, sendo o coeficiente de escoamento superficial (C) da área de captação um dos principais determinantes do volume armazenado. Diante disso, foi realizada uma análise das quatro cisternas estudadas com base nesse parâmetro, buscando avaliar seu impacto na eficiência do sistema.

Neste contexto, a Tabela 3 apresenta as datas de ocorrência de chuva (Data), lâmina precipitada (P, em mm), volume de água escoado para dentro da cisterna (G, em L) e coeficiente de escoamento superficial (C), para as cisternas acompanhadas, no período de julho de 2014 a abril de 2015. Vale salientar que foram excluídas nesta representação, as datas em que houve precipitação (P), porém não foi detectado volume de água escoada (G), para nenhuma das tecnologias acompanhadas.

Ao longo dos 10 meses de acompanhamento foram registrados nas áreas do experimento alguns dados, abaixo demonstrados:

- Cisterna 1 - 46 eventos de chuva, cujas precipitações variaram de 2 mm a 38 mm, totalizando 256 mm. Desses, em apenas 10 eventos, cujo soma do total precipitado atingiu 133 mm, houve escoamento suficiente para aumentar o nível de água da cisterna. As maiores lâminas precipitadas foram registradas nos dias 06/10/14 e 09/03/15 e corresponderam a 35 mm e 38 mm, respectivamente (Tabela 3).
- Cisterna 2 - 46 eventos de chuva, cujas precipitações variaram de 2 mm a 38 mm, totalizando 256 mm. Desses, em apenas 12 eventos, cujo total precipitado atingiu 143 mm, houve escoamento suficiente para aumentar o nível de água da cisterna. As maiores lâminas precipitadas foram registradas nos dias 06/10/14 e 09/03/15 e corresponderam a 35 mm e 38 mm, respectivamente (Tabela 3).
- Cisterna 3 - 35 eventos de chuva, cujas precipitações variaram de 2 mm a 30 mm, totalizando 253 mm. Desses, em 24 eventos, cujo do total precipitado atingiu 212 mm, houve escoamento suficiente para aumentar o nível de água da cisterna. As maiores lâminas precipitadas foram registradas nos dias 06/10/14 e 09/03/15 e corresponderam a 30 mm e 22 mm, respectivamente (Tabela 3).
- Cisterna 4 - 24 eventos de chuva, cujas precipitações variaram de 1 mm a 61 mm, totalizando 302 mm. Desses, em apenas 10 eventos, cujo a soma do total precipitado atingiu 213 mm, houve escoamento suficiente para aumentar o nível de água da cisterna. As maiores lâminas precipitadas foram registradas nos dias 17/11/14 e 10/03/15 e corresponderam a 40 mm e 61 mm, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Distribuição, quantidade e demanda por volume de água das cisternas, julho/14 a abril/15.

Data	Cisternas											
	Cisterna 1			Cisterna 2			Cisterna 3			Cisterna 4		
	P(mm)	G (L)	C	P(mm)	G (L)	C	P(mm)	G (L)	C	P(mm)	G (L)	C
03/07/2014							5,00	288,89	0,29	8,00	866,67	0,54
07/07/2014	4,00	577,78	0,72	4,00	577,78	0,72	2,00	288,89	0,72			
08/07/2014				2,00	288,89	0,72						
19/07/2014	5,00	577,78	0,58	5,00	288,89	0,29	6,00	288,89	0,24			
25/07/2014	5,00	866,67	0,87									
28/07/2014							12,00	1.733,33	0,72	10,00	288,89	0,14
07/08/2014	5,00	288,89	0,29									
08/08/2014	8,00	288,89	0,18				7,00	288,89	0,21			
10/08/2014	8,00	1.155,56	0,72				7,00	866,67	0,62			
20/08/2014										5,00	288,89	0,29
21/08/2014							8,00	866,67	0,54			
28/08/2014							4,00	577,78	0,72			
08/09/2014				15,00	288,89	0,10				19,00	2.600,00	0,68
12/09/2014							8,00	866,67	0,54			
02/10/2014				10,00	577,78	0,29	10,00	866,67	0,43			
03/10/2014										15,00	288,89	0,10
06/10/2014	35,00	4.333,34	0,62	35,00	4.333,34	0,62	30,00	4.622,22	0,77	15,00	866,67	0,29
07/10/2014							7,00	1.155,56	0,83	20,00	3.466,67	0,87
08/10/2014										20,00	1.733,33	0,43
09/10/2014							10,00	577,78	0,29			
17/10/2014							5,00	288,89	0,29			
17/11/2014										40,00	3.755,56	0,47
19/11/2014							7,00	577,78	0,41			
27/11/2014							8,00	288,89	0,18			
02/12/2014	10,00	1.155,56	0,58	10,00	1.155,56	0,58	6,00	1.155,56	0,96			
05/03/2015				5,00	577,78	0,58	5,00	577,78	0,58			
06/03/2015							9,00	866,67	0,48			
08/03/2015				2,00	288,89	0,72	5,00	288,89	0,29			

Cisternas												
Data	Cisterna 1			Cisterna 2			Cisterna 3			Cisterna 4		
	P(mm)	G (L)	C	P(mm)	G (L)	C	P(mm)	G (L)	C	P(mm)	G (L)	C
09/03/2015	38,00	5.777,78	0,76	38,00	5.200,00	0,68	22,00	2.888,89	0,66			
10/03/2015										61,00	13.866,67	1,14*
11/03/2015				2,00	288,89	0,72	5,00	866,67	0,87			
20/03/2015	15,00	577,78	0,19	15,00	577,78	0,19	16,00	1.444,45	0,45			
24/04/2015							8,00	866,67	0,54			
TOTAL	133,00	15.600,01		143,00	14.444,45		212,00	23.400,01		213,00	28.022,23	
Média	-	-	0,55	-	-	0,52	-	-	0,53	-	-	0,50

*Valor pode ter sido afetado por uma área de captação auxiliar ao calçadão

Fonte: Os Autores.

Análise sobre o coeficiente de escoamento superficial (C) em eventos em dias seguidos

Um aspecto relevante para ser observado, trata-se do coeficiente de escoamento superficial (C) para eventos em que houve precipitações no dia anterior ou com dois dias de diferença, destes destacam-se os citados a seguir: na cisterna 1, o valor de C para uma mesma precipitação de 8 mm, variou positivamente em eventos com dois dias de diferença, em 08/08/14 o C foi igual a 0,18 ao passo que em 10/08/14 o C foi quatro vezes maior chegando a 0,72.

Na cisterna 2 um fato parecido foi observado entre os dias 07 e 08 de julho, apesar do C encontrado para ambos os eventos, possuir o mesmo valor (0,72), a precipitação registrada no segundo dia, foi a metade do primeiro, sendo registrado apenas de 2 mm, contudo mesmo com um índice pluviométrico muito pequeno, foi registrado um C incomum para essa quantidade, compatível com precipitações bem maiores.

Na cisterna 3, nos dias 7 e 8 de agosto foi registrado uma precipitação de 7 mm, no entanto o C do segundo dia foi 3,5 vezes maior que o calculado para no primeiro. Foi observado dados similares para a cisterna 4, nota-se que no dia 06/10/14, para uma precipitação de 15 mm o índice de escoamento calculado resultou em 0,29, ao passo que dia após (07/10), registrou-se uma precipitação um pouco maior (20 mm), porém resultando em um C 3 vezes superior ao encontrado no dia anterior.

Estes resultados vão ao encontro dos dados observados por Brito (2014), onde identificou-se que eventos pluviométricos ocorridos em dias seguidos influenciam em um maior índice de escoamento superficial. Jalfim *et al.* (2003) também alegaram que a umidade

inicial sobre calçadão é um dos fatores que influem no aumento do C achado, argumentos que podem explicar os dados encontrados na atual pesquisa.

Análise entre o coeficiente de escoamento (C) X precipitação (mm)

Ao analisar os dados de escoamento e precipitação, verifica-se que os maiores coeficientes de escoamento das cisternas 1, 2 e 3 foram registrados em dias com índices pluviométricos inferiores a 10 mm. Os valores mais elevados foram observados na Cisterna 1 em 25/07/14 (P: 5,00 mm; C: 0,87), na Cisterna 2 em 08/07/14 (P: 2,00 mm; C: 0,72) e na Cisterna 3 em 02/12/14 (P: 6,00 mm; C: 0,96). Apenas a Cisterna 4 apresentou uma relação direta entre maior volume precipitado e coeficiente de escoamento mais elevado, com valores máximos registrados em 10/02/15 (P: 61,00 mm; C: 1,14*), conforme exposto na Tabela 3.

Esses resultados divergem dos relatados na literatura, onde se observa uma tendência oposta. De acordo com Brito (2014), os maiores valores de C estão associados às lâminas de precipitação mais elevadas, enquanto Jalfim et al. (2003) também indicam que eventos pluviométricos de maior magnitude tendem a resultar em coeficientes de escoamento mais altos.

Em uma de suas pesquisas, Brito (2014) optou por descartar a análise de C, onde os eventos pluviométricos foram inferiores a 10 mm, argumentando que estes valores não resultavam em ampliação do nível de água da cisterna, para uma captação feita por um calçadão cimentado. Mais uma vez, os dados da pesquisa atual são contrários aos apresentados por Brito (2014), pois mais de 50% das precipitações resultantes em escoamento de água para a cisterna, foram oriundos de eventos abaixo de 10 mm. Um fato que pode explicar tal distorção atribui-se ao local de realização dos experimentos, apesar de ambos terem sido realizados no Semiárido, Brito (2014) fez sua pesquisa na região do Sertão do São Francisco, onde as temperaturas são reconhecidamente mais altas, como por exemplo em Petrolina, onde a média anual é de 26,0°C com máximas podendo chegar a 34,0°C, ao passo que na região do Agreste Pernambucano, como por exemplo no município de Cumaru a média anual é de 23,4°C, com máximas não ultrapassando 30,0°C (INPE, 2015). As diferenças de temperaturas podem ter influenciado nos dados encontrados.

Ademais, faz-se necessário esclarecer o valor encontrado de C (1,14*) em 10/02/15, na cisterna 4, essa cisterna em especial, tem a possibilidade de utilizar uma área de captação auxiliar ou complementar, que se baseia em uma ligação de parte do telhado da casa do

agricultor e pode seguir diretamente para a cisterna de 52 mil litros. Esse dispositivo na maior parte do ano fica bloqueado, pois prioritariamente a água escoada no telhado é canalizada para a cisterna de 16 mil litros, porém quando esta cisterna enche o agricultor aciona o sistema para abastecer a cisterna maior (52 mil L), potencializando desta forma toda a área de captação disponível.

Através do relato da própria família, identificou-se que no dia 10/02/15 a quantidade de água precipitada (a maior dentre todos os eventos observados) foi suficiente para o enchimento total da cisterna de 16 mil litros, e que ainda durante este mesmo evento, o dispositivo que canaliza a água do telhado para a cisterna calçada foi acionado. O fato relatado, além de ter contribuído de forma efetiva para o aumento do nível de água dentro da cisterna, também não possibilitou fazer a distinção do quantitativo de água acumulado em razão da calçada de 200 m² ou do telhado e por consequência mascarou o cálculo do C, resultando em um índice superestimado. Esses fatos orientam ao retorno da observação dos dados à luz da relação entre o coeficiente C e índice pluviométrico. Eliminando-se o dia 10/02/15, o maior coeficiente de escoamento, ocorrido na cisterna 4, será encontrado no dia 07/10/14, com P: 20 mm e C: 0,87. Com esse dado a cisterna 4 também apresenta o seu maior C em dia diferente do maior evento pluviométrico (ao excluir as informações obtidas no dia 10/02, a maior precipitação registrada se deu no dia 17/11/14 com 40 mm), fato similar ao ocorrido com todas as outras cisternas acompanhadas.

Ao comparar a análise sobre o coeficiente de escoamento superficial (C) em eventos em dias seguidos, com a análise entre o coeficiente de escoamento C X precipitação (mm), observa-se que o fator da umidade inicial (gerada por eventos de precipitação antecedente) sobre o calçada, tem mais influência para o coeficiente de escoamento superficial que a própria precipitação isolada. Isso fica evidente quando observa-se que na cisterna 1 foi anotada uma precipitação de 2 mm (que não gerou escoamento superficial, portanto o valor não encontra-se na Tabela 3), três dias antes do dia verificado de maior C; já nas cisterna 2 e 4 ocorreu chuva, exatamente no dia anterior ao maior C calculado; ao passo que na cisterna 3, apesar da última chuva antes do dia de maior C ter ocorrido com cinco dias de diferença, foram detectados valores altos de C em dias de chuvas consecutivos, como por exemplo no dia 07/10/14 que com apenas uma chuva de 7 mm gerou um escoamento superficial de 0,83 mm.

Análise entre maiores precipitações X maiores volumes acumulados

Entendendo que a quantidade de água acumulada na cisterna é o objeto maior desta tecnologia, é importante compreender como se comporta o acúmulo de água em relação ao volume precipitado. Neste sentido, observou-se que nas 4 cisternas os eventos de maiores precipitações, apesar de não terem gerados os maiores coeficientes de escoamento superficial (C), resultaram nos maiores volumes escoados (G) para a cisterna, demonstrados nos seguintes casos: Cisterna 1, em 09/03/2015, P: 38,00 mm e G: 5.777,78 Litros; Cisterna 2, em 09/03/2015, P: 38,00 mm e G: 5.200,00 Litros; Cisterna 3, em 06/10/2014, P: 30,00 mm e G: 4.622,22 Litros; e cisterna 4, em 10/03/2015, P: 61,00 mm e G: 13.866,67 Litros (Tabela 3). Esses dados estão de acordo com os resultados encontrados por Jalfim *et al.* (2003), onde afirma que “proporcionalmente, as maiores precipitações contribuem mais para o acúmulo de água na cisterna”.

Eficiência de captação de água da cisterna calçada

Em pesquisa realizada durante 3 meses (janeiro a março) acompanhando 4 cisternas que utilizam área de captação por calçada cimentado, Jalfim *et al.* (2003) encontrou os seguintes resultados para o coeficiente de escoamento superficial (C): Cisterna 1 - 0,40; Cisterna 2 - 0,49; Cisterna 3 - 0,53; Cisterna 4 - 0,54, resultando em uma média geral de 0,47. Ainda dentro do mesmo estudo, porém utilizando uma metodologia diferente, onde foi aplicado aos cálculos outras variáveis, Jalfim *et al.* (2003) chegou a um valor médio total de C 0,59. Brito (2014) acompanhando uma cisterna calçada durante 3 anos (janeiro 2010 a dezembro 2012) encontrou um C de 0,67, porém para esse cálculo foram desprezadas as precipitações menores que 10 mm.

Os dados médios para as 4 cisternas obtidos para os coeficientes de escoamento superficial nesta pesquisa, levando-se em consideração todas as precipitações que resultaram em volume escoado (G), foram respectivamente: 0,55; 0,52; 0,53 e 0,42 (desconsiderando o evento registrado em 10/02/15), resultando em uma média geral de C = 0,50, ou seja, cerca de 50% da chuva anual ou mensal precipitada sobre o calçada escoada para a cisterna.

Desta forma os valores encontrados nessa pesquisa (C = 0,50) dialogam com Jalfim *et al.* (2013) (C = 0,47), porém diferem dos encontrados por Brito (C = 0,67). Esses fatos podem ter explicação em ajustes metodológicos para realizar os cálculos, exemplificando esse argumento, pode-se expor os valores encontrados por Jalfim *et al.* (2003), que

apresentou valores distintos para C dentro de uma mesma pesquisa, apenas fazendo ajustes no método do cálculo.

4. Considerações finais

A partir da análise dos dados obtidos, foi possível concluir que o coeficiente de escoamento superficial (C) da área de captação constitui um fator determinante para a eficiência da cisterna calçadão de 52 mil litros, uma vez que influencia diretamente o volume de água armazenado. Observou-se que a ocorrência de eventos pluviométricos sucessivos exerce impacto mais significativo sobre esse coeficiente do que o volume total de precipitação isoladamente, o que evidencia que a umidade prévia do calçadão desempenha um papel fundamental na captação da água. Ademais, o valor médio do coeficiente de escoamento encontrado foi de 0,50, indicando que apenas 50% da água precipitada é efetivamente aproveitada pelo sistema.

No que concerne à qualidade da água armazenada, verificou-se que, embora a principal finalidade da cisterna calçadão seja o abastecimento para produção de alimentos e dessedentação animal, muitos beneficiários fazem uso dessa água para consumo humano, especialmente durante períodos de estiagem prolongada. Isso se deve, em grande medida, ao fato de que a aparência, o odor e o sabor da água frequentemente levam os usuários a considerá-la potável. No entanto, as análises microbiológicas demonstraram que os teores de coliformes totais e *Escherichia coli* encontram-se acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, tornando a água imprópria para o consumo humano e evidenciando potenciais riscos à saúde pública.

Diante desse contexto, torna-se imprescindível a adoção de medidas para proteção da área de captação, de modo a restringir o trânsito de pessoas e animais e, conseqüentemente, minimizar a contaminação microbiológica. Ademais, recomenda-se a implementação de sistemas de purificação da água, seja no pré-armazenamento – entre a captação e a entrada na cisterna –, seja no momento da retirada para consumo, a fim de assegurar a qualidade da água destinada ao uso humano.

Portanto, a cisterna calçadão se apresenta como uma tecnologia social de grande relevância para o Semiárido, configurando-se como uma alternativa viável e adaptada às condições climáticas da região. Para aprimorar sua eficiência, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias voltadas à otimização da captação de água e à garantia da

sua qualidade para diferentes usos. Assim, recomenda-se a realização de novas pesquisas que visem ao aperfeiçoamento desse sistema, consolidando sua eficácia como uma solução sustentável e segura para a população rural do Semiárido brasileiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem as famílias proprietárias das cisternas, que de forma muito gentil permitiram a realização desse estudo.

Referências

AMARAL, L. A. **Qualidade higiênico-sanitária e teor de nitratos na água utilizada em propriedades leiteiras situadas na região nordeste do Estado de São Paulo**. 2001. 133 f. Tese (Livre Docência) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

APHA - American Public Health Assotiation. **Standard Methods for the Examination of Water and Waster water**. 21th ed., Washington DC, 2005.

BLACKBURN, D. M.; BUSTAMANTE, Y.; LIMA, M. S.; JALFIM, F. T.; VIANA, A. V.; JÚNIOR, M. F. Avaliação da Contaminação Microbiológica de Água para Consumo Doméstico na Região de Atuação da Diaconia no Semi-Árido Nordeste. In: 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de chuva, Teresina – PI, Brasil, 2005. **Anais...** Teresina– PI, Brasil, ABCMAC, 2005, CD-ROM.

BRITO, L. T. L.; CAVALCANTI, N. B.; PEREIRA, L. A.; GNADLINGER, J.; SILVA, A. S. **Água de chuva armazenada em cisterna para produção de frutas e hortaliças**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S. Coeficiente de escoamento superficial em diferentes áreas de captação de água de chuva. In: 9º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Feira de Santana, 2014. **Anais...** Feira de Santana – BA, 2014.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São Caetano e Cumarú, estado de Pernambuco**. CPRM/PRODEEM, Recife, 2005.

CUNHA, G. S. **Avaliação da qualidade das águas nas cisternas da comunidade Uruçu no município de Gurinhém: uma abordagem geográfica**. UFPB/CCEN- João Pessoa, 2014.

CURTIS L.; HAIRSTON J., DONALD J.; ECKMAN M. Factores clave del agua en la producción de pollos. **Indústria Avícola**, MT. Morris, v. 48, n. 7, p. 26-31, 2001.

GNADLINGER, J. **Rainwater harvesting for household and agricultural use in rural areas**. In: World Water Forum, 2, 2000, Netherlands. Disponível: <<http://www.irpaa.org/publicacoes/files/11thircsc.pdf>>. Acesso em: maio 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>, 2010:. Acesso em: maio 2023.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Brasil, 2015. Disponível em: < <https://www.cptec.inpe.br/> >. Acesso em: abr. 2023.

JALFIM, F.; FARIAS JUNIOR, M.; BLACKBURN, D.; BUSTAMANTE, Y.; ELIEZER NETO, J.; CAVALCANTI, A.; RIBEIRO, O.; MANOEL NETO, L.; PAIVA, I.; LIMA, M. Eficiência do calçadão cimentado na captação de água de chuva no semi-árido brasileiro. In.: 4º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Petrolina, 2003. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA, 2003. 1 CD-ROM.

LACERDA, F. F.; NEVES, F. M.; CANEL, L. X. C.; LOPES, G. M. B. Conceito de sistemas agrovoltáticos no Nordeste: uma solução de desenvolvimento ecossustentável para o Semiárido nordestino. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 42, p. e189543, 2022. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.189543.

LIMA, J. C. A. L. **Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no Semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UFPE/CAA. Caruaru, 2012.

MACÊDO, J. A. B. **Águas & águas**. Belo Horizonte: CRQMG. 977p, 2004.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento, pesquisa qualitativa em saúde**. 9 ed. São Paulo: Hucitec, 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011**. Estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância de qualidade de água para consumo humana e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília - DF, 2011.

MDS - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL. **Acesso à água -Reservatórios garantem às famílias mais pobres da região acesso à água para beber, cozinhar e para higiene pessoal**. Ministério do Desenvolvimento Social, Governo Federal, 2015. Disponível em: <<http://mds.gov.br/area-de-imprensa/noticias/2015/marco/programa-agua-para-todos-entrega-mais-de-804-mil-cisternas-no-semiarido>> Publicado em: 17/03/2015. Acesso em: maio de 2023.

MOUCHREK, E. Qualidade da água. **Revista AVIMIG**, Belo Horizonte, v. 4, n. 34, p. 14-15, 2003.

NETO, C. O. A. Segurança sanitária das águas de cisternas rurais. In: 4º Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, Juazeiro. BA, 2003. **Anais...** Associação Brasileira de Capitação e Manejo de Água de Chuva, 2003.

NÓBREGA, A. E. O.; MUSSE, N. S. O. Desenvolvimento sustentável no litoral semiárido potiguar: o processo de consolidação da reserva de desenvolvimento sustentável estadual Ponta do Tubarão em Macau/RN e Guamaré/RN. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 161-176, 2019. DOI: 10.26895/geosaberes.v10i22.750.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients and toxic substances in water for lives tockandpoultry**. Washington, DC. National Academy of Science, 1974.

SANTOS, J. **Cisterna Telhadão: Inovações para convivência com o Semiárido**, Recife: Centro Sabiá, 46 p. :il, Série: Conhecimentos nº 02, 2013.

SILVA, A. S.; PORTO, E. R. **Utilização e conservação dos recursos hídricos em áreas rurais do tropico Semi-Árido do Brasil: tecnologias de baixo custo.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 128 p. il. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos; 14), 1982.

SILVA, K. D.; BRAGA, V. O; QUINTAES, K. D.; HAJ-ISA, N. M. A.; NASCIMENTO, E. S. Conhecimento e atitudes sobre alimentos irradiados de nutricionistas que atuam na docência. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 30(3): 645-651, jul.-set. 2010.

PÁDUA, V. L. **Proteção Sanitária das Cisternas Utilizadas na Preservação de Águas Pluviais para Uso Domiciliar: Aspectos Técnicos e Educacionais.** 5º Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: FUNASA, 2013.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Vol. 1, 3ª ed. Minas Gerais: ABES, 2005.