



Qualidade das águas de fontes alternativas para usos múltiplos no semiárido paraibano

Water quality from alternative sources for multiple uses in the semiarid region of Paraíba

Wilza da Silva Lopes¹, George Rodrigues Lambais¹, Gleydson Kleyton Moura Nery¹, Antonio Carlos Pires de Mello², Salomão de Sousa Medeiros³, Janiele França Nery¹

¹ Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba, Brasil

² ONG PATAAC, Campina Grande, Paraíba, Brasil

³ Instituto Federal da Paraíba, Paraíba, Brasil

Contato: wilza.lopes@insa.gov.br

Palavras-Chave

cisternas
águas cinzas
filtros
reúso de água
tratamento

Key-word

cisterns
gray waters
filters
water reuse
treatment

RESUMO

O abastecimento de água e o sistema de esgotamento de populações da zona rural do semiárido brasileiro são em sua grande parte aplicações de soluções alternativas. A utilização de cisternas abastecidas por água de chuva e/ou por açudes ou rios por meio de carros pipas, tornou-se uma das principais formas de provimento de água para essas populações. Como a água disponível é para o suprimento das necessidades básicas das famílias, e como há falta de soluções adequadas para disposição e tratamento dos efluentes, as práticas de reúso de água para agricultura vem a ser uma prática sustentável para as famílias agricultoras. Assim, o trabalho avaliou a qualidade de águas de cisternas e águas cinzas tratadas em propriedades rurais de quatro municípios no semiárido da Paraíba. Para isso, foi aplicado um questionário sobre o sistema de abastecimento e sobre o tratamento da águas cinzas para o reúso, além da coleta e avaliação da qualidade das águas. A água armazenada nas cisternas, não apresentaram qualidade satisfatória para o consumo, conforme o estabelecimento na portaria brasileira. As águas utilizadas na agricultura, apresentaram padrões para uso irrestrito e/ou restrito de acordo com os critérios estabelecidos por normativas internacionais, sendo essa variação resultante da composição e da manutenção dos filtros. Sendo assim, para algumas famílias, é necessário uma adequação entre o efluente gerado e a cultura irrigada.

ABSTRACT

The water supply and the system of depletion of populations in the rural area of the Brazilian semiarid are largely applications of alternative solutions. The use of cisterns supplied by rainwater and / or by dams or rivers by means of water trucks, has become one of the main ways of providing water for these populations. As the water available is to supply the basic needs of families, and as there is a lack of adequate solutions for the disposal and treatment of effluents, the practices of reusing water for agriculture have become a sustainable practice for farming families. Thus, the work evaluated the quality in physical-chemical and microbiological aspects of cistern and gray water treated in rural properties in four municipalities in the semi-arid region of Paraíba. For this, a questionnaire was applied on the supply system and on the treatment of greywater for reuse, in addition to the collection and evaluation of water quality. The water stored in the cisterns did not show satisfactory quality for consumption, as established in the Brazilian ordinance. The waters used in agriculture presented standards for unrestricted and/or restricted use according to the criteria established by international regulations, with this variation resulting from the composition and maintenance of filters. Thus, for some families, an adjustment between the generated effluent and the irrigated culture is necessary.

Informações do artigo

Recebido: 22 de março, 2021

Aceito: 12 de julho, 2021

Publicado: 31 de agosto, 2021

Introdução

A situação do saneamento das populações concentradas nas áreas rurais e periferias de centros urbanos apresentam grandes déficits, dentre eles destacam-se o abastecimento de água e sistema de esgotamento sanitário (PORTO et al., 2019). De acordo com o Censo Demográfico (IBGE, 2010) a situação do abastecimento de água de domicílios rurais por rede de abastecimento é de apenas 28%, sendo a maior parte da população atendida por carro pipa, cisterna de água de chuva, rio, açude, lago e igarapé. Para o esgotamento sanitário 4% da população é atendida pela rede geral de esgoto, o que quer dizer que quase toda a população rural utiliza de soluções individuais para disposição dos seus efluentes, sendo a principal a fossa rudimentar.

No Semiárido brasileiro, a problemática do saneamento básico é evidente através do número de sedes municipais não atendidas com o esgotamento sanitário. Através do levantamento realizado para a região, apenas 21% da população possuíam sistema de coleta de esgoto sanitário (MEDEIROS et al., 2014). Nessas localidades, a infraestrutura de saneamento básico é ainda mais precária e/ou inexistente, quando comparado ao meio urbano.

Muitos problemas podem ser observados além do acesso ao sistema de abastecimento de água, tais como: receber água da rede de distribuição, poços ou nascentes fora dos padrões de potabilidade; intermitência prolongada no fornecimento de água; utilização de água de cisterna de captação de água de chuva sem segurança sanitária; e quantidade insuficiente para a proteção à saúde. Para o serviço de esgotamento é ainda mais problemático, pois as práticas de disposição são bastantes ineficientes e comprometem a saúde da população e o meio ambiente (BRASIL, 2019).

No estudo desenvolvido por Nery et al. (2021) foi verificado que nenhuma das águas armazenada em cisternas possuem características potáveis, apresentando elevados valores para os parâmetros de cor, turbidez, nitrato, coliformes totais e *E. coli*. Farto e Silva (2020) avaliaram a qualidade das águas armazenadas em cisternas, oriundas de açude e de água de chuva, e verificaram que essa última apresentou melhor qualidade do que as cisternas que armazenaram água de açudes. No entanto, os parâmetros de coliformes totais, coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas não atenderam a Portaria de abastecimento.

Desse modo, o desenvolvimento de práticas sustentáveis descentralizadas são fundamentais para promover saúde, proteger o meio ambiente e aumentar a qualidade de vida da população. Fontes alternativas de água vem sendo difundido nas populações mais difusas, como a instalação de cisternas para captação e acúmulo de água da chuva, ou para armazenamento de águas de açude através de carros pipa, de modo a garantir a disponibilidade hídrica para o abastecimento humano (FARTO e SILVA, 2020; FIGUEIREDO et al., 2019a). Nas últimas décadas foram registrados avanços por meio do aproveitamento de água de chuva. Através do Programa

Um milhão de Cisternas (P1MC), financiado pelo Governo Federal, foram instaladas em torno de 620 mil cisternas com capacidade de armazenamento de 16 mil litros de água de chuva para consumo humano, beneficiando diretamente uma população de 2,5 milhões de pessoas (ASA, 2019).

Como o acesso quantitativo a água já é bastante limitado, essas populações utilizam as águas armazenadas nas cisternas para as necessidades básicas domésticas diárias e usos mais nobres, comprometendo assim, o desenvolvimento de atividades que requerem maiores volumes de água, como a agricultura. De acordo com Medeiros (2018) a zona rural do Semiárido possui cerca de 1,83 milhões de estabelecimentos agrícolas, sendo 79% constituídos pela agricultura familiar.

Nesse contexto, considerar as águas cinzas tratadas como um recurso hídrico a ser utilizado na agricultura, surge como uma opção estratégica para prática sustentável no âmbito do desenvolvimento das famílias rurais. Para isso, o tratamento deve apresentar baixo custo de instalação e manutenção, além de operação adequada a mão de obra familiar.

O sistema Bioágua Familiar é um dos exemplos de tecnologia que reconhece a oferta de água cinza como um recurso sustentável para a produção de alimentos das famílias do Semiárido. Isso porque as águas cinzas (aquelas resultantes de pias de cozinha, lava-louças, máquinas de lavar, chuveiros, lavatórios, banheiros, exceto a parcela dos vasos sanitários) representam cerca de 70-75% da produção total de águas residuárias domésticas. Esse sistema consiste num processo de filtragem na qual a degradação da matéria orgânica das águas cinzas ocorre pela presença de microrganismos e minhocas (*Eisenia fetida*), e em seguida é utilizada num sistema fechado de irrigação destinado à produção de hortaliças, frutas, plantas medicinais e outros tipos de alimentos (SANTIAGO et al., 2012; NOUTSOPOULOS et al., 2018).

Semelhante aos sistemas Bioágua, a utilização de filtros com outros meios filtrantes apresentam-se como uma alternativa promissora para as famílias agricultoras, a partir do tratamento das águas cinzas para uso na irrigação de culturas, contribuindo para o aumento da produção de alimentos, melhorias na qualidade de vida e condições sociais de populações. Além do que grande parte das águas cinzas podem ser disposta ou usada de forma inadequada, como mostrado por Figueiredo et al. (2019b) na qual cerca de 45% das águas cinzas não tratadas eram aplicadas diretamente no solo ou em plantas e 11% eram dispostas diretamente nos corpos d'água.

Silva et al. (2018) analisaram o tratamento de águas cinzas por sistema Bioágua. Os autores mostraram que a água cinza apresentou qualidade satisfatória para os parâmetros de pH, cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, cálcio, magnésio, potássio, sódio e *E. coli*, tornando-se viável para uso na irrigação.

Mayer et al. (2021) utilizando um sistema de tratamento anaeróbio seguido de lagoas de polimento para reúso agrícola, mostraram uma eficiência média de remoção de DBO de 74%, e um efluente com $2,2 \times 10^4$ NMP/100 mL de *E. coli* e ausência de ovos de helmintos, atendendo às recomendações sanitárias da OMS. Além disso, segundo os autores a utilização da água tratada na agricultura incrementou na propriedade familiar a disponibilidade de água de 40 m^3 /ano e reduziu gastos com adubação mineral.

A coordenação do Coletivo Regional das Organizações da Agricultura Familiar (COLETIVO) e o Programa de Aplicação de Tecnologias Aplicadas (PATAC) visando contribuir com o fortalecimento da agricultura familiar implantaram 87 Sistemas Simplificado de Tratamento e Reúso de Água Cinza (SSTRAC) em 51 comunidades de 11 municípios do Curimataú, Seridó e Cariri paraibano (LAMBAIS et al., 2020b).

Uma das grandes preocupações dessa utilização na agricultura consiste em adequá-la aos critérios de qualidade sanitária recomendados pela Organização Mundial da Saúde. Dessa forma, o conhecimento sobre os riscos e manejos sanitários necessários é fundamental, pois embora a água cinza não possua contribuição fecal dos vasos sanitários, de onde é oriunda a maioria dos microrganismos patogênicos, como é o caso da bactéria *Escherichia coli*, atividades como lavar as mãos, preparação de alimentos, lavagem de roupas, ou o próprio banho, constituem possíveis fontes de contaminação (WHO, 2006).

Com base no exposto, as alternativas para disponibilizar água de consumo adequada, tratamento e

reúso das águas cinzas geradas, reduz os impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes da vulnerabilidade hídrica da população da zona rural. Porém, para garantir a proteção dessas populações, devem-se assegurar que as águas (de consumo e de reúso) sejam seguras do ponto de vista qualitativo. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade das águas armazenadas em cisternas e das águas cinzas tratadas por sistemas simplificados, utilizadas para reúso em comunidades rurais de quatro municípios do semiárido paraibano.

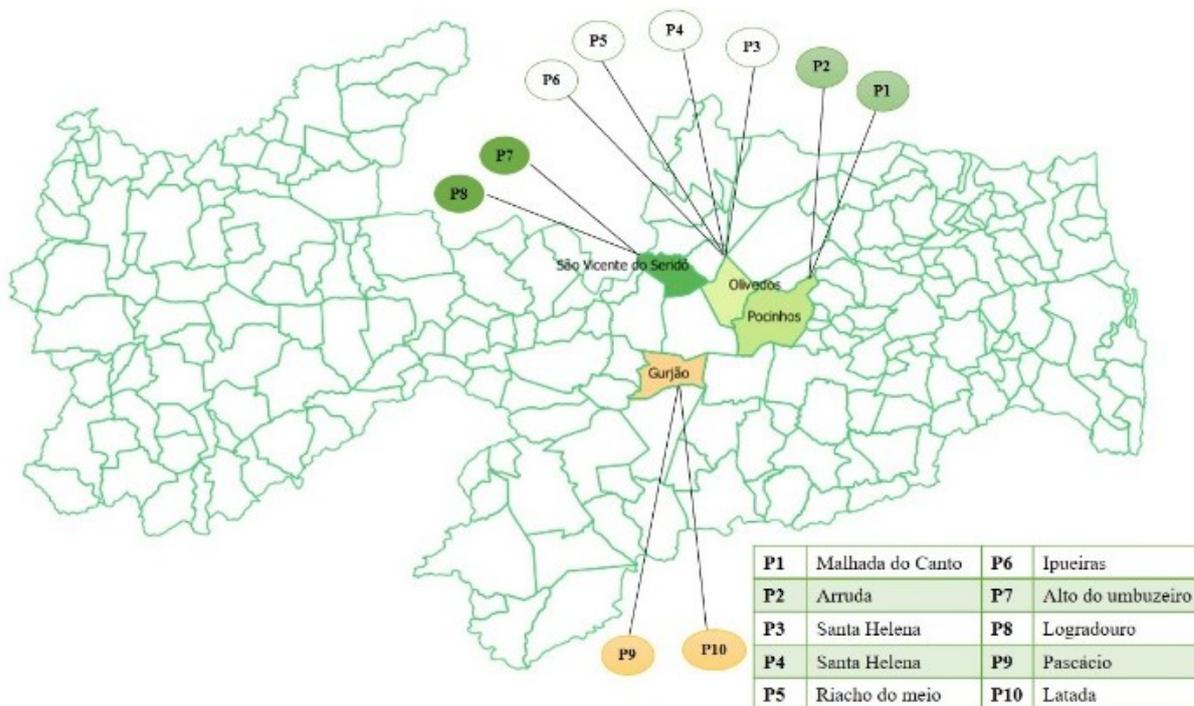
Material e Métodos

Área de Estudo

O estudo baseou-se na avaliação do saneamento básico por meio do abastecimento de água e dos sistemas de tratamento e reúso de águas cinzas em propriedades rurais de quatro municípios da Paraíba. Participaram do estudo 10 famílias, distribuídas nos municípios de Pocinhos, Olivedos, São Vicente do Seridó e Gurjão (Figura 1). Em cada residência foram avaliadas a qualidade da água dos sistemas de abastecimento, por meio de cisternas, e os sistemas de tratamento e reúso de águas cinzas.

O sistema de tratamento de água cinza amostrados baseiam-se no sistema simplificado Bioágua (SANTIAGO et al., 2015), com algumas adaptações na composição das camadas (Tabela 1), sendo composto de caixa de gordura seguido de filtros.

Figura 1. Localização dos locais de amostragem na geografia do estado



Fonte: Autores (2021)

Tabela 1. Descrição dos filtros para o tratamento das águas cinzas

Município	Localidade	Construção	Vazão (L/sem)	Tempo de limpeza (dias)	Material
Pocinhos	Malhada do Canto	2016	500	60	Seixo, brita, areia
Pocinhos	Arruda	2016	700	120	Seixo, brita, areia, tela sombrite, palha de milho
Olivedos	Santa Helena	2016	500	30	Seixos, brita, carvão, tela sombrite, areia
Olivedos	Santa Helena	2016	500	90	Seixos, brita, carvão, sombrite, areia
Olivedos	Riacho do Meio	2014	500	90	Seixos, brita, carvão, sombrite, areia
Olivedos	Ipueiras	2014	300	120	Seixos, brita, carvão, sombrite, areia
São Vicente do Seridó	Alto do Umbuzeiro	2016	600	*	Cascalho, brita, sombrite, areia
São Vicente do Seridó	Logradouro	2015	400	*	Seixos, brita, sombrite, areia
Gurjão	Pascácio	2016	500	180	Pedra grossa, brita, sombrite, areia, capim moído
Gurjão	Latada	2016	1600	60	Pedra grossa, brita, sombrite, areia, folhas

* Frequência de limpeza dos sistemas não informada

Fonte: Autores (2021)

O sistema funciona por gravidade, com vazões afluentes que variam de 71 L dia⁻¹ a 228 L dia⁻¹ para as diferentes famílias. Após o tratamento o efluente é armazenado num reservatório para posteriormente seguir para irrigação do tipo xique xique.

Para a avaliação da qualidade das águas foram realizadas uma única coleta, nos sistemas de abastecimento (coleta de água das cisternas) e nos sistemas de tratamento de águas cinzas (coleta do efluente final dos filtros de tratamento), em 10 pontos amostrais, sempre no período entre 9 e 11 horas, nos meses de setembro a dezembro de 2019. As amostras foram acondicionadas em garrafas de polietileno e resfriadas durante o transporte até o Laboratório de Ecotoxicologia Ambiental do Semiárido da estação experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA). Para todas as águas foram analisados os parâmetros de pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos, salinidade, ortofosfato, nitrogênio (amônia e nitrito), sódio, potássio, coliforme totais e *Escherichia coli* para todas as amostras das águas de consumo e de reúso das famílias. Na realização das análises bacteriológicas, as amostras foram coletadas em sacos estéreis de 100 mL, do tipo Whirl-Pak (Nasco, Fort Atkinson, WI) e transportadas sob condições de refrigeração para o laboratório. A determinação de *E. coli* foi feita através da técnica Colilert®, utilizando a tecnologia do substrato definido (TSD). Os resultados foram apresentados em termos de número mais provável (NMP) por 100 mL. Todos os parâmetros seguiram os métodos estabelecidos no APHA (2012).

Análise de dados

Análises de dissimilaridades foram usadas para agrupar os conjuntos de dados referentes as características físicas e químicas das águas, e composição dos filtros, a partir da distância de Gower (PODANI et al., 1999).

As análises foram produzidas utilizando a função daisy do pacote FD, no software R.

Resultados e Discussões

Caracterização da água do sistema de abastecimento das famílias

Com base no levantamento durante o diagnóstico do presente estudo, observou-se que a água de abastecimento das famílias é proveniente de mais de uma fonte, sendo as principais água da chuva e de carros pipas (Figura 2). Os resultados da avaliação da qualidade de água das cisternas estão apresentados na Tabela 2.

Com base na Tabela 2, observa-se que todos os valores de pH se apresentaram na faixa estabelecida pela Portaria de Consolidação nº5/2017 (6,0 a 9,5).

Também não houve variações significativas no pH para as águas das cisternas das famílias, sendo o maior pH observado no P8. Tal aumento pode ser resultado da origem da água, uma vez que no P8 a origem é de chafariz, e isso pode ter contribuído para sua diferença com as demais fontes águas (pipa, chuva, poço, barreiro).

É importante ressaltar que o pH é importante para reações de solubilização de várias substâncias, e valores fora da faixa podem conferir sabor a água, além do que o pH elevado diminui a eficácia da desinfecção por cloração (VON SPERLING, 2005).

Segundo Farto e Silva (2020) as águas de chuva apresentam valores de pH relativamente mais baixo, e para as águas provenientes de açudes, como é o caso das distribuídas por carros pipas, devem ser observados o local de captação, condições de armazenamento e transporte das águas.

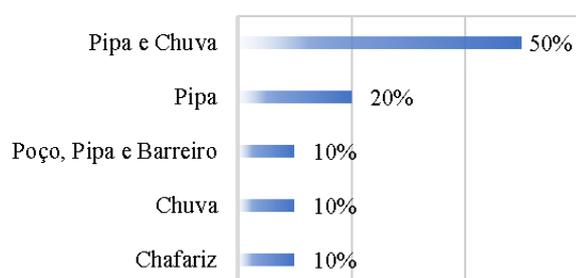
Tabela 2. Resultados qualitativos das águas utilizadas para o abastecimento das famílias estudadas

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
pH	6,41	6,41	6,21	6,51	6,91	6,97	8,14	9,25	7,90	7,50
CE (mS/cm)	0,26	0,46	0,40	0,26	0,62	0,33	0,29	0,44	0,41	0,49
Turbidez (NTU)	0	0	16,1	9,8	4,0	3,6	0	0,1	35,2	7,2
OD (mg/L)	7,82	8,3	3,8	3,9	6,01	6,6	6,1	6,6	6,9	7,03
SDT (mg/L)	0,17	0,30	0,26	0,17	0,40	0,21	0,19	0,29	0,26	0,32
Salinidade (ppm)	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Amônia (µg/L)	191,2	1250,2	76,2	89,2	70,2	41,2	0,3	65,2	147,2	142,2
Nitrito (µg/L)	2,1	7,1	0,7	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	2,1	2,8
Fósforo (µg/L)	11,2	76,2	36,2	36,2	111,2	377,8	61,2	69,5	4,5	9,5
Sódio (mg/L)	13,8	319	23,6	17	39,9	20,1	5,6	9,4	20,4	27,8
Potássio (mg/L)	8,3	19,0	6,4	3,3	13,6	6,5	10,8	10,7	9,7	8,0
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

*CE – condutividade elétrica; OD – oxigênio dissolvido; SDT – Sólidos dissolvidos totais.

Fonte: Autores (2021)

Figura 2. Fontes de água de abastecimento das famílias estudadas



Fonte: Autores (2021)

A condutividade elétrica apresentou valores médios entre 0,26 mS/cm (0,26 dS/m) e 0,62 mS/cm (0,62 dS/m). O maior valor de condutividade aqui encontrado (P5) pode estar relacionado com materiais na forma de sólidos dissolvidos, ou pela presença de sais, uma vez que também foi observado maior concentração de SDT e de salinidade no P5.

Com base na condutividade elétrica as águas podem ser classificadas quanto a salinidade, sendo baixa salinidade (< 0,25 dS/m), salinidade média (0,25 a 0,75 dS/m), salinidade alta (0,75 a 2,25 dS/m) e salinidade muito alta (> 2,25 dS/m) (RICHARDS, 1954). Sendo assim, todas as águas utilizadas pelas famílias estudadas são classificadas com salinidade média.

Com relação aos valores de turbidez os pontos P3, P4, P9 e P10 não atendem aos padrões da Portaria de consolidação nº 5/2017, na qual estabelece VMP de 5 uT (BRASIL, 2020a). A maior turbidez foi encontrada no P9, na qual a única fonte de abastecimento da cisterna é água de chuva. Tal valor pode estar associado a presença de material em suspensão, uma vez que a condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos dessa água estão baixos.

Hagemann e Gastaldini (2016) encontraram valores médios de turbidez na água de chuva de 24 NTU, e segundo os autores a ocorrência de valores relativamente elevados pode ser consequência da presença de material particulado carregados pelas precipitações. Além disso, o manejo adequado da coleta de água de chuva é fundamental para sua qualidade, uma vez que a deposição de algum material na superfície de captação afeta nos valores da turbidez, e consequentemente de menor qualidade, uma vez que a alta turbidez impede a ação desinfetante, protegendo os microrganismos.

As concentrações de amônia para todas as amostras de água foram menores que 1,5 mg/L (VMP estabelecido pela Portaria consolidação nº 5/2017) (BRASIL, 2020a). Basicamente todas as amostras apresentaram baixas concentrações (0,1 mg/L), semelhante aos resultados reportados por Farto e Silva (2020), com 0,2 mg/L para cisterna abastecidas por água de chuva e 0,4 mg/L para as abastecidas por açude; e por Hagemann e Gastaldini (2016) com concentrações que variaram de 0,69 a 1,15 mg/L.

Com relação a *E. coli* a Portaria consolidação nº5/2017 estabelece que a água tratada deve apresentar ausência, sendo que para todas as águas das cisternas aqui estudadas foi detectada a contaminação por bactérias *E. coli* (presença/100mL) (BRASIL, 2020a).

Caracterização do efluente tratado do sistema de tratamento das famílias

Os resultados da qualidade do efluente final para reúso de águas cinzas das diferentes famílias são apresentados na Tabela 3. Com base nas informações levantadas, as fontes das água cinza foram variáveis sendo as principais utilizadas pela maioria das famílias as resultantes da pia da cozinha e da lavagem de roupa.

Os sistemas de tratamento foram construídos entre os anos de 2014 e 2016, tendo como característica entre eles um bom tempo de operação, que resulta na formação do biofilme no meio filtrante que auxilia o tratamento do efluente. No entanto, com o aumento do tempo de funcionamento se faz necessário a limpeza de parte da camada filtrante para melhoria do desempenho da vazão de filtração e também a limpeza na caixa de gordura. O tempo para limpeza e manejo do sistema variaram de 30 até 180 dias nos sistemas das diferentes famílias.

Os dados de pH não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de filtração, com valores dentro da faixa ideal para os microrganismos responsáveis pelo tratamento das águas cinzas, que crescem e se aderem a camada filtrante. Do ponto de vista do reúso a USEPA (2012) estabelece que o pH deve estar entre 6 e 9, e desse modo as águas de reúso de todos os pontos coletados atendem aos padrões.

Tabela 3. Caracterização do efluente final do sistema de tratamento de água cinzas das famílias estudadas

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
pH	7,43	7,2	7,35	7,7	8,2	8,9	7,5	7,8	7,8	8,36
CE (mS/cm)	0,842	1,67	1,8	1,7	1,94	1,11	3,68	2,4	7,9	3,36
Turbidez (NTU)	76,5	31,4	3	16	15,7	18,7	18,3	74,5	38,6	13,5
OD (mg/L)	2,2	4,7	1,6	3,4	2,5	7,2	2,3	5	4,5	3,18
SDT (mg/L)	0,535	1,07	1,2	1,14	1,25	0,713	2,37	1,55	5,05	2,15
Salinidade (ppm)	0,04	0,084	0,095	0,09	0,099	0,055	0,195	0,125	0,444	0,176
Nitrito (mg/L)	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,22	0,04	0,21	0,77	0,01
Sódio (mg/L)	43,3	316,8	18,2	158,4	2520	990	524,7	297	1260	762,3
Potássio (mg/L)	9,8	19,4	178,2	49,5	28,7	14,1	29,7	59,4	49,5	49,5

*CE – condutividade elétrica; OD – oxigênio dissolvido; SDT – Sólidos dissolvidos totais.

Fonte: Autores (2021)

Um dos fatores que devem ser observados na água para reúso agrícola é a qualidade do ponto de vista da segurança do sistema de irrigação. Parâmetros como condutividade elétrica, salinidade e SDT são importantes para avaliação do risco de obstrução do sistema de irrigação. Além disso, segundo Bakare et al. (2017) altos valores de condutividade nas águas cinzas que se destinam a irrigação, podem ter um efeito adverso nas plantas e levar a um impacto de longo prazo na salinização no solo.

A resolução COEMA nº2/2017 estabelece que a condutividade para irrigação deve ser inferior a 3000 µS/cm e a CETESB (2010) deve ser menor que 2,9 dS/m para irrigação restrita. Desse modo, os pontos P7, P9 e P10 não atendem aos critérios estabelecidos por nenhuma das duas normas Estaduais brasileiras. Segundo a USEPA (2012) a condutividade elétrica e os SDT determinam o grau de restrição à irrigação, sendo: nenhum (< 0,7dS/m e < 450 mg/L) moderado (0,7 – 3,0 dS/m e 450 – 2000 mg/L) e forte (> 3,0 dS/m e >2000 mg/L). Com base nessa classificação, apenas o P9 apresenta um grau de restrição à irrigação forte para condutividade elétrica e SDT (USEPA 2012).

Como a água utilizada para consumo das famílias estudadas são classificadas com salinidade média, esse não seria o fator que teria influência na condutividade do efluente final. No entanto, essa é única família (P9) que o filtro é composto por pedra grossa, brita, sombrite, areia, capim moído, e como alguns materiais orgânicos apresentam capacidade de aumentar ou reduzir a turbidez, talvez a presença do capim (pelo seu poder calorífico, composição química e solubilização de sais, especialmente sódio e potássio) pode ter proporcionado o aumento na

condutividade (EMBRAPA 2016; OLIVEIRA et al., 2017).

A turbidez variou de 3 NTU a 76,5 NTU (Tabela 3), valores acima dos padrões estabelecidos pela USEPA (2012) e pelo PROSAB (2006), ≤ 2NTU e ≤ 5NTU, respectivamente. Apenas o P3 atende apenas ao critério do PROSAB. Como a turbidez tem relação direta com os sólidos em suspensão, valores elevados na água de irrigação podem provocar o entupimento do sistema, e consequentemente trazer problemas na distribuição da água no gotejamento.

Com base no levantamento feito junto às famílias a partir da entrevista, foi observado que o menor valor de turbidez (P3) foi encontrado para família que realizava manejo e limpeza do sistema no menor tempo (30 dias). Tal fator pode ter sido influenciado pela limpeza do sistema de tratamento, que proporcionaram caixa de gordura previamente instalada ao filtro, contribui significativamente para remoção de materiais em suspensão, e quando se tem tempos de limpeza maiores, pode favorecer o carreamento de grande parte do material em suspensão para o filtro e consequentemente para o efluente final. A fonte das águas cinzas nessa família (P3) foi resultante apenas da pia da cozinha e do banheiro. De acordo com o estudo de Figueiredo et al. (2019b) as maiores concentrações de sólidos e de turbidez foi encontrado em águas cinzas advindas da cozinha, e tal fator pode ser o motivo ao qual a família faz e necessita fazer limpezas mais frequentes. Vale ressaltar, que a sensibilidade da família na operação e desempenho do sistema é fundamental para se ter uma água de qualidade adequada para reúso agrícola.

Outro ponto observado foi que 4 das famílias do presente estudo (P3, P4, P5 e P6) possuíam filtros constituído de seixos, brita, carvão, sombrite e areia, que resultaram em efluentes com baixos valores de turbidez dentre os filtros estudados. Dentre eles houve a variação do tempo de manejo e limpeza do sistema, sendo de 30 dias, 90 dias, 90 dias e 120 dias, respectivamente. Desse modo, o maior tempo resultou numa maior turbidez ao efluente. Vale destacar que a água cinza afluente diferenciou e isso pode também ter contribuído para os diferentes valores de turbidez.

Os pontos P7 (com filtros de cascalho, brita, sombrite, areia) e P10 (com filtros de pedra grossa, brita, sombrite, areia e folhas) também apresentaram valores mais baixos para turbidez. Tal fator pode ter se dado pela composição dos meios filtrantes, da operação e da limpeza adequada.

Por outro lado, os filtros P1 e P8 apresentaram qualidade de efluente inferior às demais. Em ambos os filtros a composição é de apenas seixos, brita e areia, e tal composição do meio pode não ter favorecido para um bom desempenho no tratamento. No entanto, estudos mais aprofundados devem ser realizados, considerando fatores aqui não avaliados, como o efluente de entrada do sistema, coleta em diferentes períodos de limpeza do sistema, dentre outros.

Outro fator de suma importância para água de reúso agrícola está relacionada a sua qualidade sanitária. Um dos parâmetros utilizados para qualidade da água de reúso é *E. coli*, sendo estabelecido o limite de até 10^5 NMP/100 mL para irrigação irrestrita e de 10^4 a 10^6 NMP/100 mL para irrigação restrita. Entre as categorias de irrigação irrestrita tem-se cultivo de raízes, tubérculos ou irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo ($\leq 10^3$ NMP/100mL), cultivo de folhosas ($\leq 10^4$ NMP/100mL), irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo ($\leq 10^5$ NMP/100mL). Para a classificação restrita os valores são de $\leq 10^4$ NMP/100mL para agricultura de baixo nível tecnológico com mão de obra intensiva; $\leq 10^5$ NMP/100mL para técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial) e; $\leq 10^6$ NMP/100mL para agricultura de alto nível tecnológico altamente mecanizada.

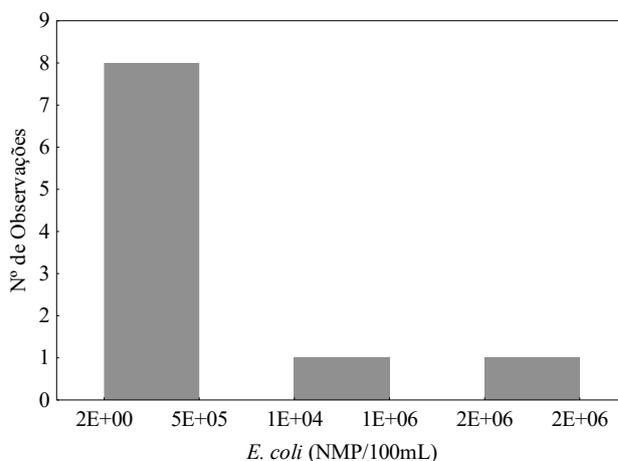
De todos os filtros operados pelas famílias, grande parte das amostras apresentaram concentrações de até 10^5 NMP/100mL estando de acordo com os padrões estabelecidos pela OMS (Figura 3).

No entanto, apenas a amostra P8 se enquadra no reúso restrito, além de não ter favorecido uma boa qualidade em níveis de turbidez. Apesar dos pontos P1 e P7 terem o mesmo meio filtrante, foi alcançado um efluente com melhor qualidade que o P8, mostrando mais uma vez que os cuidados operacionais e de manutenção são fundamentais para obtenção de efluentes com melhor qualidade.

Entretanto, os efluentes P1, P7 e P8 foram os que apresentaram maiores concentrações de *E. coli* de todos os sistemas analisados, mostrando que esse tipo de

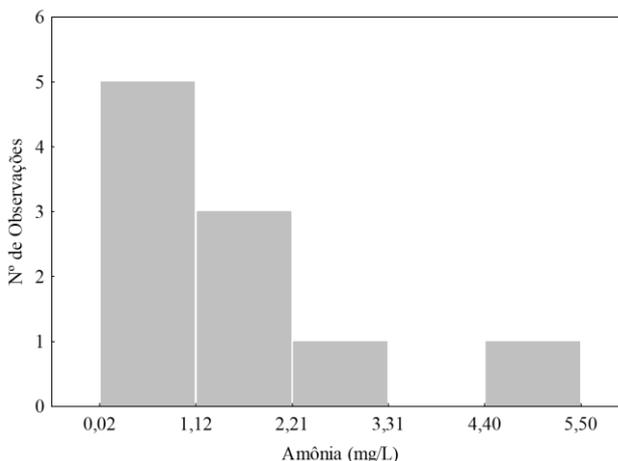
constituição de meio filtrante (seixos ou cascalho + brita + areia) pode não se apresentar como uma composição adequada para se obter grandes remoções, mesmo com cuidados e manejo adequados.

Figura 3. Concentração de *E. coli* da água de reúso das famílias estudadas



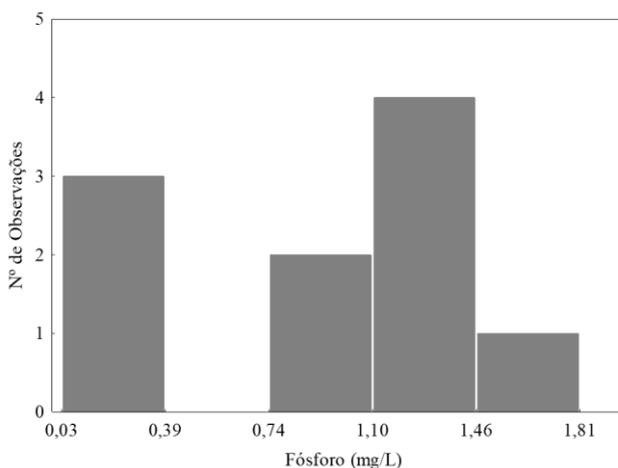
Fonte: Autores (2021)

Figura 4. Concentração de amônia da água de reúso das famílias estudadas



Fonte: Autores (2021)

Figura 5. Concentração de fósforo da água de reúso das famílias estudadas



Fonte: Autores (2021)

Em estudo de monitoramento de águas cinzas, com o mesmo tipo de tratamento, foram constatados valores de *E. coli* entre $4,0 \times 10^4$ e $8,5 \times 10^4$ NMP/100 mL em propriedades rurais do semiárido paraibano (LAMBAIS et al., 2020a). Resultados similares foram observados na região semiárida do Rio Grande do Norte, utilizando o sistema Bioágua Familiar para tratamento de águas cinzas, os estudos relataram valores de *E. coli* entre $2,1 \times 10^4$ e $1,5 \times 10^5$ NMP/100 mL (DOMBROSKI et al., 2013) e de $1,9 \times 10^4$ NMP/100 mL (SILVA et al., 2018).

No estudo realizado por Figueiredo et al. (2019b) foi constatado concentrações na ordem de 10^6 para águas cinzas de cozinha, mistas, chuveiro e lavatório, sendo 10^2 apenas as provenientes de lavanderia, na qual segundo os autores pode ser explicado pela maior diluição e uso de produtos de limpeza (desinfetantes, água sanitária e sabões), que contribui para diminuição ou eliminação de microrganismos. Com base nisso, percebe-se que grande parte dos sistemas apresentaram bom desempenho na remoção de *E. coli*, uma vez apenas a família (P5) tem como fonte de águas cinzas apenas as provenientes de lavagem de roupa.

Marques et al. (2018) relataram a presença de microrganismos patogênicos nas águas cinzas representados por bactérias, vírus e protozoários, confirmando a potencialidade de transmissão por meio desse efluente no uso sem o devido tratamento, sendo as maiores concentrações encontradas nas amostras com deficiência de saneamento.

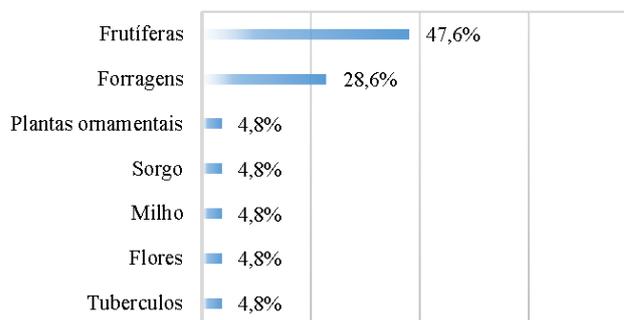
As concentrações de nutrientes foram baixas em todas as águas cinzas de reúso, com valores que variaram de 0,02 a 5,5 mg/L de amônia (Figura 4), 0 a 0,77 mg/L para nitrito (Tabela 3) e 0,03 a 1,81 mg/L para fósforo (Figura 5). As baixas concentrações de nitrogênio (amônia e nitrito) nas águas cinzas podem ser explicadas pelo fato de que a maior contribuição de amônia (encontradas no esgoto) são advindas dos vasos sanitários, da urina. Por consequência, as concentrações de nitrito ainda menores, são em consequência da baixa concentração de amônia e de oxigênio no meio.

Os valores de nutrientes são semelhantes aos reportados por Noutsopoulos et al. (2018), na qual apresentaram valores para amônia entre 0,11 a 1,4 mg/L nas águas cinzas de lava louças e de lavagem de roupas, respectivamente. Para fósforo as concentrações situaram-se na faixa de 0,1 a 2,7 mg/L, exceto nas águas provenientes de lava louças. Para Figueiredo et al. (2019b) a presença de fosfato nas águas cinzas podem ser devido ao uso de shampoo utilizados para estabilização de espumas, ou pela presença de detergentes e sabão em pó, enquanto que o nitrogênio pode estar relacionada ao comportamento de urinar durante o banho ou do uso de desinfetantes e produtos de limpeza que possuem em sua composição compostos à base de amônia. Conforme Noutsopoulos et al. (2018), espera-se que um teor mais alto de água cinza com fósforo seja registrado em países que ainda não baniram os detergentes contendo fósforo. Aqui no Brasil, a resolução CONAMA nº 359/2005 dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó, visando a redução e eventual eliminação do aporte de fósforo dessa fonte nos corpos de água (BRASIL, 2020b).

Com base no exposto, pode-se perceber que as baixas concentrações de nutrientes encontradas nos efluentes finais das 10 famílias estudadas não têm relação com remoção pelos sistemas de tratamento, e sim pelas próprias características das águas cinzas. Além do que os filtros utilizados para o tratamento de águas cinzas visam a remoção de materiais sólidos, microrganismos patogênicos e a preservação de nutrientes, uma vez que são fundamentais para o desenvolvimento das culturas.

Outra informação levantada foi com relação às culturas irrigadas, sendo as mais adotadas pelas famílias a frutíferas e forrageiras (Figura 6).

Figura 6. Culturas irrigadas com efluente tratado para as famílias estudadas



Fonte: Autores (2021)

Como já discutido anteriormente, 70% das famílias apresentaram qualidade do efluente para uso irrestrito, mas apesar do grau de qualidade do efluente poder ser utilizado para usos mais exigentes, como cultivo de raízes e tubérculos e plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo, essas famílias destinam grande parte das águas de reúso para irrigação de forragens e frutíferas. É importante ressaltar que dos outros 3 pontos que apresentaram qualidade do efluente inferior em níveis de *E. coli*, um deles utilizam para irrigar tubérculo (P1) sendo necessário mudança no meio filtrante do sistema, melhorias nas práticas de manejo para atendimento das normas, ou mudança na cultura irrigada. Já no P7, apesar de apresentar uma concentração um pouco alta de *E. coli* (10^5), o efluente desse sistema é utilizado para irrigação de frutíferas, desenvolvida distante do nível do solo, atendendo assim aos critérios da OMS. No P8, efluente com a pior qualidade, dentre os sistemas analisados, utilizam o efluente para frutíferas e plantas ornamentais. Nesse caso, deve-se buscar melhorias ao sistema e a qualidade da água de reúso, para proteção da saúde das pessoas que fazem o manejo do sistema.

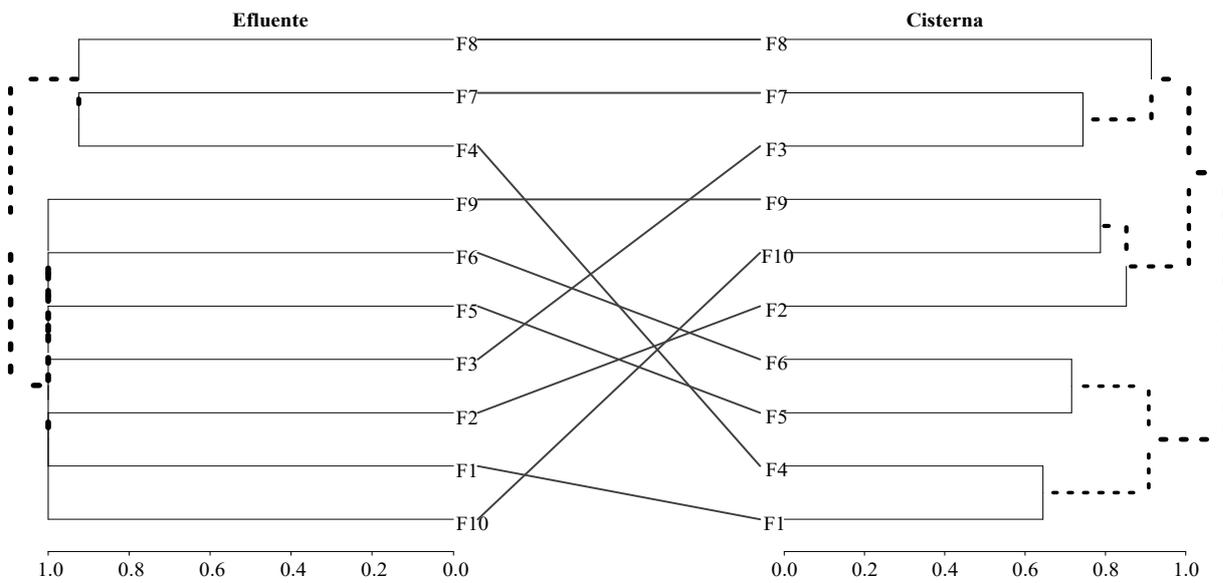
Análise estatística

Utilizando uma abordagem de agrupamentos para comparação dos casos, observou-se elevada similaridade nas características de reúso, com a formação de apenas dois grupos, contudo, as águas de abastecimento apresentaram maior dissimilaridade, com formação de três grupos, denotando que a água consumida apresenta características diferentes, possivelmente em função de sua origem (Figura 6). Em regiões semiáridas, a água de

consumo apresenta fontes diversas, como abastecimento por carros-pipa, captação pluvial, açudes, o que ratifica as diferenças observadas (SANTOS et al., 2019). Comparando-se os clusters (Figura 7), nota-se que não há correspondências entre as características da água de abastecimento e de reúso, exceto para o P7, P8 e P9, o que reflete as diferentes formas de usos e manejo da água pelas famílias no semiárido.

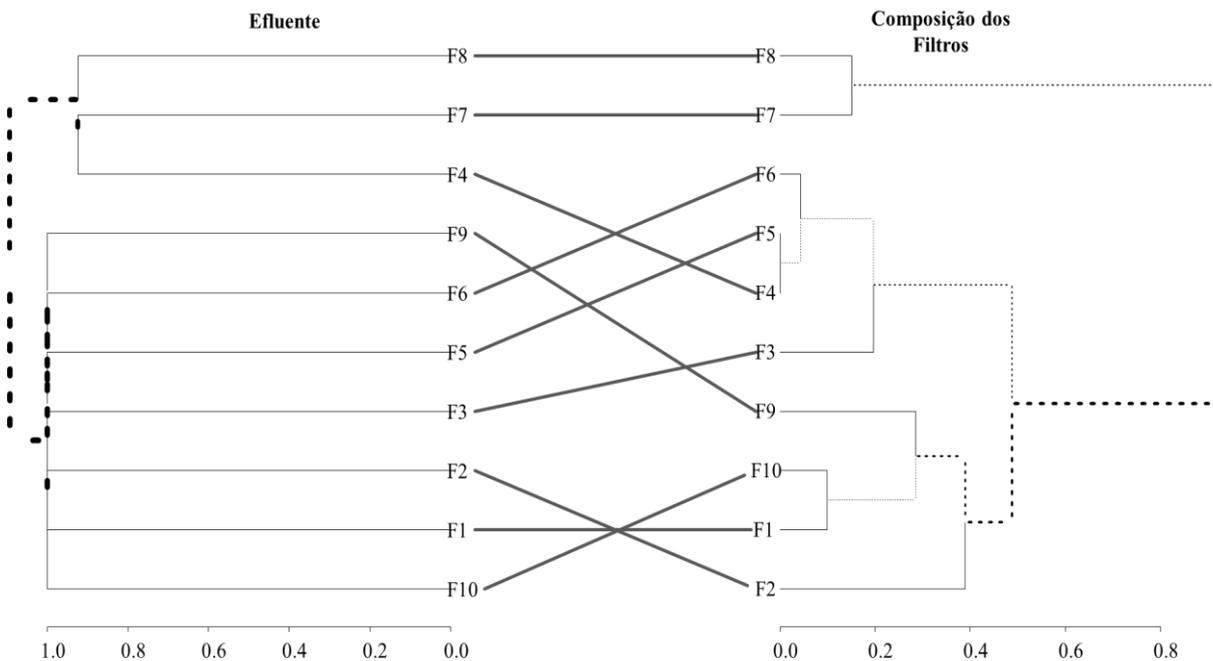
Comparando-se a composição do meio filtrante, nota-se a formação de quatro grupos distintos (Figura 8), contudo, não há correspondência com as características do efluente produzido, exceto para P7, P8 e P9. Apesar da construção e utilização dos filtros estarem associadas a formações educacionais com as famílias beneficiadas (SANTOS et al., 2016), notadamente o manejo dos mesmos sofre alterações, interferindo na qualidade do efluente produzido.

Figura 7. Clusters compartivos das características físicas e químicas das águas derivadas de cisternas e efluentes produzidos nas famílias estudadas.



Fonte: Autores (2021)

Figura 8. Clusters compartivos das características físicas e químicas das águas derivadas dos efluentes e composição do meio filtrante nas famílias estudadas.



Fonte: Autores (2021)

Conclusões

Nenhuma das fontes de abastecimento de água das famílias atendem a Portaria de Consolidação nº5/2017, indicando a presença de contaminação da água por *E. coli*, configurando riscos potenciais a saúde, deste modo faz-se necessário tratamento prévio para o consumo.

Os efluentes para reúso agrícola produzidos apresentaram características adequadas para irrigação da maioria das culturas exploradas, sendo necessário apenas algumas adequações entre o tipo de cultura à qualidade do efluente gerado para algumas famílias.

As fontes alternativas são soluções viáveis para garantir os usos múltiplos da água em regiões rurais semiáridas, visto seu baixo custo, fácil instalação, operação e manutenção. No entanto, se faz necessário capacitação e sensibilização das famílias para desenvolverem práticas adequadas de captação e armazenamento das águas de consumo, bem como manejo e limpeza dos sistemas de reúso de águas cinzas, visando garantir a saúde humana e proteção ambiental.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES e ao MCTI pelo apoio financeiro feito por meio da concessão de bolsas aos pesquisadores, ao INSA pela disponibilização da estrutura laboratorial para desenvolvimento das análises e ao PATAC pela parceria para a realização do trabalho.

Contribuição dos autores

Os autores desse artigo declaram que contribuíram de forma igualitária na sua elaboração.

Referências

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington, 22nd Edition. 2012.

ASA. ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Dados gerais**. Disponível em: <<https://www.asabrasil.org.br/mapatecnologias/>> Acesso em 23 de novembro de 2020.

BAKARE, B. F.; MTSWENI, S.; RATHILAL, S. Characteristics of greywater from different sources within households in a community in Durban, South Africa. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 7, n. 4, p. 520-528, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Programa Nacional de Saneamento Rural** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 260 p., 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017**. Disponível em: <<https://portal.arquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>>. Acesso em 03 de novembro de 2020a.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 359 de 29 abril 2005**. Brasília: Governo Federal, 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=463>>. Acesso em 03 de novembro de 2020b.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. **Norma Técnica P4-002**, 1ª Edição, 20 p., 2010.

COEMA - Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA). **Resolução nº2, de 2 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002.

DOMBROSKI, S. A. G.; SANTIAGO, F. S.; JALFIM, F. T.; DIAS, I. C. G. M. Eficiência de tratamento de água cinza pelo bioágua familiar. In: **7º Encontro Internacional de Águas**, 7, 2013, Recife: Universidade Católica de Pernambuco, 2013.

EMBRAPA. **Poder Calorífico do Capim-Elefante para a Geração de Energia Térmica**/ Anderson Carlos Marafon... [et al.] - Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros), 28 p., 2016.

FARTO, C. D.; SILVA, T. C. Avaliação comparativa da qualidade de água de chuva e oriunda de açudes armazenadas em cisternas no semiárido do estado da Paraíba. **Revista DAE**, v. 68, n. 223, p. 112-123, 2020.

FIGUEIREDO, I. C. S.; COASACA, R. L.; DUARTE, N. C.; MIYAZAKI, C. K.; LEONEL, L. P.; SCHNEIDER, J.; TONETTI, A. L. Fossa Séptica Biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p. 100-114, 2019a.

FIGUEIREDO, I. C. S.; DUARTE, N. C.; COASACA, R. L.; MAGALHÃES, T. M.; BARBOSA, A. C.; PORTELA, D. G.; MADRID, F. J. P. L.; OLIVEIRA CRUZ, L. M. O.; TONETTI, A. L. Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, 2019b.

HAGEMANN, S. E.; GASTALDINI, M. DO C. C. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria – RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 3, p. 525-536, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 17 de setembro de 2020.

LAMBAIS, G. R.; MELO, M.; MELLO, A.; AFONSO, M.; BARBOSA, R. A.; MEDEIROS, S. S. **Monitoramento microbiológico de águas residuárias para produção agroecológica: uma ferramenta de segurança sanitária do reúso agrícola no semiárido brasileiro**. In: XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2020, Aracaju. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe, v. 15, 2020a.

LAMBAIS, G. R.; NERY, J. F.; LIMA, M. A. N.; MELLO, A. C. P.; MEDEIROS, S. S. **Tecnologia social de tratamento de água cinza para reúso agrícola na zona rural de municípios do Cariri e Seridó paraibano**. Abordagens tecnológicas e sociais no Nordeste Brasileiro/ Organizadores: Isaac Araújo Gomes... [et al.]. -Bananeiras: Gepra Editora e Eventos científicos, 2020b.

MARQUES, F. R.; IDE, W.R.; PAULO, P. L. Patógenos em águas residuárias: Revisão. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 11, n. 2, p. 167-181, 2018.

- MAYER, M. C.; MEDEIROS, S. S.; BATISTA, M. M.; BARBOSA, R. A.; LAMBAIS, G. R.; SANTOS, S. L.; VAN HAANDEL, A. Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro. **Revista DAE**, v. 69, n 229, p. 104-114, Ed. Especial, 2021.
- MEDEIROS, S. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, D. B.; BATISTA, R. O.; SANTOS JUNIOR, J. A.; LIMA, R. C. C.; PEREZ-MARIN, A. M. **Esgotamento Sanitário: Panorama para o Semiárido Brasileiro**. 1. ed. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, v. 1. 63p, 2014.
- MEDEIROS, S. S. **Estabelecimentos Agropecuários do Semiárido Brasileiro**. 1º ed. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 149 p., 2018.
- NERY, J. F.; NERY, G. K. M.; MELO, M. N.; MEDEIROS, S. S. Águas Inseguras? Monitoramento da qualidade da água estocada em cisternas no semiárido paraibano. **Revista Principia**, n. 54, p. 113-120, 2021.
- NOUSOPOULOS, C.; ANDREADAKIS, A.; KOURIS, N.; CHARCHOUSI, D.; MENDRINO, P.; GALANI, A.; MANTZIARAS, I.; KOU MAKI, E. Greywater characterization and loadings e Physicochemical treatment to promote onsite reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 216, n. 15, p. 337-346, 2018.
- OLIVEIRA, A. P. S.; PINHEIRO, E. F. M.; CAMPOS, D. V. B. Avaliação do Tratamento da Água Residuária da Suinocultura Utilizando Filtro Orgânico Constituído de Bagaço de Cana-deAçúcar. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 5, p. 1970-1984, 2017.
- PODANI, J. **Extending Gower's general coefficient of similarity to ordinal characters**. *Taxon* 48:331-340, 1999.
- PORTO, B. B.; SALES, B. M.; REZENDE, S. Saneamento básico em contextos de agricultura familiar. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p. 52-68, 2019.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C., U.S. Salinity Laboratory, USDA Agriculture Handbook, 60, p. 160, 1954.
- SANTIAGO, F. DOS S.; *et al.* **Bioágua familiar: reúso de água cinza para a produção de alimentos no Semiárido**, Edição do projeto Dom Helder Camara/SDT/MDA, p. 24, Recife, 2012. Disponível em <<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RN/Anexos/Semiárido-Reuso-de-aguas-cinzas.pdf>>.
- SANTIAGO, F. *et al.* **Manual de implantação e manejo do sistema bioágua familiar**. Caraúbas: ATOS, 2015. 194 p.
- SANTOS, M. A. F.; COSTA, V. S. O.; GOMES, E. T. A.; GALVINCIO, J.D. Percepção ambiental: reflexões sobre o semiárido baiano. **Rev. Bras. Geogr. Física** 12, 1904–1912, 2019.
- SANTOS, C. F., GUEDES MAIA, Z. M., STRADIOTTO SIQUEIRA, E., & ROZENDO, C. A contribuição da Bioágua para a segurança alimentar e sustentabilidade no Semiárido Potiguar brasileiro. **Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate**, 7(3), 100-113, 2016.
- SILVA, E. A. A.; SILVA, F. E.; SILVA, M. E. L.; ASSUNÇÃO, M. S. L. **Eficiência do sistema Bioágua no tratamento de águas cinzas**. In: V Congresso Brasileiro dos Engenheiros Sem Fronteiras, Natal, 2018.
- U.S. Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse, EPA/600/R12/618, p. 643, 2012.
- VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos** (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.
- WHO, 2006. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater**. World Health Organization, Geneva.