

IV-276 - RESERVATÓRIO DE PLACAS DE ARDÓSIA PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Marcio Antonio Nogueira Andrade⁽¹⁾

Eng^o. Civil, Doutor, Pesquisador do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC.

Marina Boldo Lisboa

Eng^a. Sanitarista e Ambiental, mestranda no Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Henrique de Melo Lisboa

Eng^o. Civil, Prof^o. Doutor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Endereço⁽¹⁾: Rod. João Paulo, 1030, Bloco C, Apto. 101 – Bairro João Paulo - Florianópolis - SC - CEP: 88030-300 - Brasil - Tel: +55 (48) 9959-2496 - e-mail: **mandrade@ecv.ufsc.br**

RESUMO

No contexto da crescente pressão exercida sobre os recursos hídricos, trazendo consequências tanto em relação aos aspectos quantitativos quanto qualitativos, o desenvolvimento de tecnologias apropriadas para sistemas de aproveitamento de água da chuva surge como uma alternativa promissora. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma tecnologia inovadora para a construção de reservatórios de armazenamento de água da chuva, os reservatórios de placas de ardósia. No desenvolvimento desta tecnologia já foram construídos cinco reservatórios com placas de ardósia, dos quais dois são apresentados neste trabalho, sendo um com capacidade para 80 m³ e o outro para 250 m³. Estes reservatórios fazem parte de sistemas-piloto de aproveitamento de água da chuva implantados no Oeste Catarinense. Trata-se de reservatórios cilíndricos, apoiados, com placas de ardósia (folhelhos ardorianos) e camada estrutural de ferrocimento. O reservatório de 80 m³ foi instalado em uma escola pública, enquanto que o de 250 m³ foi implantado em uma instalação suinícola. Realizou-se uma análise comparativa de custos entre estes reservatórios e os comumente utilizados na região de estudo. Também foram feitas análises físico-químicas e exames bacteriológicos da água da chuva em diversos pontos dos sistemas-piloto a fim de verificar sua qualidade ao longo do percurso no sistema, com enfoque na qualidade da água armazenada nos reservatórios. A tecnologia de construção de reservatórios de ardósia apresentou rapidez e facilidade de execução, e baixo custo de construção. A ardósia, além de servir de forma para a moldagem da armadura e para a argamassagem, é um material natural e abundante na região central do Estado de Santa Catarina. As análises físico-químicas e os exames bacteriológicos indicaram a eficiência dos dispositivos de tratamento físicos, químico, e de proteção sanitária, utilizados nos sistemas-piloto implantados. No sistema-piloto instalado na suinocultura, observou-se que a água da chuva após desinfecção é adequada para dessedentação dos animais, atendendo a Portaria nº 518 e observando as condições e padrões para as águas de Classe 3 da Resolução CONAMA 357. Também foi possível constatar que não houve comprometimento da qualidade da água armazenada em contato com a ardósia. Esta nova tecnologia apresenta assim grande potencial de aplicação e viabilidade econômica, dependendo principalmente do custo de transporte destas pedras.

PALAVRAS-CHAVE: Água da chuva, Reservatório, Ardósia.

INTRODUÇÃO

Na busca de se promover a conservação da água pode-se atuar tanto na gestão da demanda quanto na gestão da oferta. O aproveitamento da água da chuva de captação direta – utilizada junto de onde é captada – é uma fonte alternativa de oferta que pode contribuir para minorar situações de escassez de água.

A água da chuva é uma fonte alternativa que pode ser utilizada para diversas finalidades, tanto no meio rural, quanto no urbano. No meio urbano seu uso tem sido priorizado para fins não potáveis, como: descarga de vaso sanitário, irrigação de pequenas áreas (jardins e hortas), lavagem de roupa, de veículos e de pisos. Já no meio rural, além destes usos, tem-se também as demandas para dessedentação animal e “irrigação de salvação”.

A água da chuva pode ser ainda utilizada, após tratamento adequado, para abastecimento humano, pois em algumas situações é a água de melhor qualidade disponível. O governo brasileiro implantou promissores programas que incentivam pequenos agricultores a construírem cisternas principalmente no semi-árido da Região Nordeste. O Programa Um Milhão de Cisternas – PIMC, elaborado em parceria com organizações não governamentais (ONG's) como a Articulação no Semi-Árido Brasileiro (ASA) e financiado por organizações governamentais e pelo setor privado, com o objetivo de construir um milhão de cisternas. E também o Programa Uma Terra e Duas Águas – P1+2, que contempla não apenas o aproveitamento da água da chuva para consumo humano, mas também para a produção de alimentos (GNADLINGER, 2006).

O Brasil possui uma norma para aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, a NBR-15527/2007 (ABNT, 2007). Quanto ao meio rural, apesar de várias utilizações, ainda não existe uma norma brasileira particular para estas aplicações.

Apesar da abundância dos recursos hídricos da Região Oeste de Santa Catarina, contemplada com altos índices de precipitação pluviométrica (com médias anuais em torno de 1700 mm) e com boa distribuição (espacial e temporal) de chuvas, o Oeste Catarinense, assim como outras regiões do Rio Grande do Sul, costumam passar por situações de escassez de água.

Vários fatores são responsáveis pela crise da água do Oeste Catarinense, e a solução desta crise deve contemplar um planejamento integrado dos recursos hídricos locais, pensando e agindo localmente e globalmente. Assim, o aproveitamento da água da chuva pode contribuir para minimizar os problemas de estiagem na Região.

Na busca de se desenvolver soluções apropriadas para a construção de grandes reservatórios de armazenamento de água de chuva, este trabalho tem como principal objetivo apresentar uma tecnologia inovadora apropriada para a construção de reservatórios de armazenamento de água da chuva para a região do Oeste Catarinense. Trata-se de reservatórios cilíndricos, apoiados, com parede lateral de placas de ardósia (folhelhos ardorianos) montadas justapostas e envoltas por uma armadura de aço estrutural e uma tela fina - com abertura que possibilite a armazenagem manual, semelhante ao ferrocimento artesanal.

Foram construídos com esta tecnologia cinco reservatórios com placas de ardósia com as seguintes capacidades: 10; 40; 50; 80; e 250 m³. Neste trabalho são apresentados dois dentre eles, com capacidades para 80 e 250 m³, os quais fazem parte de sistemas-piloto de aproveitamento de água da chuva implantados no Oeste Catarinense. O reservatório de 80 m³ foi executado em uma escola pública, no município de Seara, e armazena água da chuva para fins não-potáveis. E o de 250 m³ foi executado em uma instalação suinícola, no município de Concórdia, e armazena água da chuva para dessedentação animal e higienização das instalações.

Realizou-se uma análise comparativa de custos entre estes reservatórios de ardósia e outros tipos de reservatórios comumente encontrados na região de estudo. Também foram feitas análises físico-químicas e exames bacteriológicos da água da chuva em diversos pontos dos sistemas-piloto a fim de verificar sua qualidade ao longo do percurso no sistema, com enfoque na qualidade da água armazenada nos reservatórios.

Em um sistema de aproveitamento de água de chuva, o componente mais oneroso é quase sempre o reservatório de armazenamento. Daí a importância de se desenvolver tecnologias que viabilizem estes componentes, principalmente quando são requeridos grandes volumes de água armazenada.

Este trabalho está inserido no âmbito do Projeto “Desenvolvimento de Tecnologias Apropriadas para Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva” financiado pela Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina – FAPESC. Os recursos foram repassados pela Secretária de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, SDS do Governo do Estado de Santa Catarina e tem como executora a Fundação de Estudos e Pesquisas Sócio-Econômicos – FEPESE.

MATERIAIS E MÉTODOS

RESERVATÓRIO DE PLACAS DE ARDÓSIA

Optou-se por esta tecnologia devido à forte ocorrência dos folhelhos ardosianos na região central de Santa Catarina; devido ao baixo custo da pedra, entorno de R\$ 5,00 o m²; e pela facilidade na execução, já que as placas de ardósia servem de “forma perdida” para a camada estrutural.

A tecnologia de construção de reservatórios de ardósia foi descoberta pelo Eng. Marcio Andrade, que utilizou esta técnica pela primeira vez em uma cisterna de 10 m³ executada no Município de Urupema-SC em dezembro de 2007, conforme divulgado em SCHWEITZER & ANDRADE (2009).

Os folhelhos ardosianos utilizados neste trabalho foram extraídos de uma jazida no Município de Trombudo Central, região do Alto Vale do Itajaí. Esta rocha apresenta características de resistência inferiores a da ardósia propriamente dita, como as originárias de Minas Gerais, devido à sua origem sedimentar, enquanto a ardósia é uma rocha metamórfica. Neste trabalho chama-se o folhelho ardosiano de ardósia, como é popularmente conhecida no Estado de Santa Catarina.

A ardósia utilizada neste trabalho apresenta cor cinza-escura e desenvolve planos preferenciais de partição correspondentes à denominada “clivagem ardosiana”. Ela é uma rocha homogênea, compacta e com granulação muito fina. Os principais minerais encontrados nas ardósias são o quartzo, mica branca, clorita, sericita, feldspato, carbonato e óxido de ferro (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2010).

EXECUÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

O método construtivo dos reservatórios de placas de ardósia está apresentado a seguir:

- Preparação do terreno: O terreno deve ser limpo e firme, livre de ocorrência de formigueiros ou aterros.
- Execução da base do reservatório: Deve-se construir uma laje circular de concreto armado. Nesta laje, deve-se executar uma vala anelar que irá receber as placas de ardósia. Estas serão encaixadas na vala e consolidadas com argamassa. A espessura desta laje pode ser variável, côncava, com a menor espessura no centro e mais espessa nas extremidades, nas proximidades da vala em que são encaixadas as placas de ardósia.
- Montagem da lateral do reservatório: As placas de ardósia (com dimensões 2,50 x 0,40 x 0,06 m) devem ser consolidadas na vala da base e rejuntadas com selante siliconado a base de poliuretano. Após a montagem das placas, coloca-se a armadura. Utilizou-se como armadura uma tela soldada, de aço estrutural, com malha de 10 x 20 cm (com menor espaçamento na horizontal) e com fio 4,2 mm. Esta tela deve ser esticada até ficar junto à placas de ardósia. É então colocada a armadura complementar com aço CA-60B com diâmetro também de 4,2 mm. Depois devem ser utilizados espaçadores para promover o distanciamento conveniente entre a armadura e as placas de ardósia, posicionando e esticando bem a armadura, proporcionando um melhor comportamento estrutural. A armadura estrutural e de sustentação é então envolvida por uma tela, com abertura de malha que possibilita a sustentação da argamassa. Esta tela, além da função de permitir a argamassagem manual da peça, promove a subdivisão e distribuição da armadura e, conseqüentemente, contribui para “combater” a fissuração da peça. A argamassa deve ser rica em cimento, com traço 1:2:0,5 em volume (cimento:areia média:água). O acabamento deve ser realizado com argamassa de cimento e areia fina, com traço de 1:3 em volume (cimento:areia fina) e conveniente quantidade de água que permita boa trabalhabilidade. O cobrimento final deve ficar com cerca de 6 mm de espessura. A parede do reservatório é, portanto, constituída por uma camada de placas de ardósia de 6 cm de espessura, e uma camada de ferrocimento com aproximadamente 3 cm de espessura.
- Cobertura Metálica: Para a cobertura, instala-se uma estrutura metálica composta por treliças de aço galvanizado, montadas aparafusadas, sem solda, com contraventamento e executadas com perfis, em chapa de aço galvanizado, dobrada, em forma de “L”. E as telhas são em chapas de aço galvanizadas e corrugadas.
- Dispositivos de Proteção Sanitária: Nestes reservatórios a entrada da água da chuva é encaminhada até a sua base (fundo do reservatório), onde é colocado um freio d’água. Este dispositivo possibilita a dissipação de energia cinética do escoamento, amortecendo-o e favorecendo a sedimentação de sólidos no fundo do

reservatório. O reservatório é equipado ainda com um extravasor (ladrão) com sifão, um conjunto flutuante de sucção, e uma visita. O sifão impede a entrada de gases provindos da rede de drenagem pluvial, além de restringir a entrada de animais. O conjunto flutuante de sucção permite a retirada da água próxima à superfície, de melhor qualidade. A visita permite a inspeção e a manutenção do reservatório.

CUSTOS DOS RESERVATÓRIOS

Os custos dos reservatórios foram assim discriminados: base do reservatório em concreto armado; placas de ardósia; camada estrutural, em ferrocimento artesanal; cobertura metálica; instalações hidráulicas; e custo com mão-de-obra.

Fez-se uma análise comparativa de custos entre os reservatórios de placas de ardósia e os que são usualmente utilizados para armazenamento de água da chuva na região Oeste de Santa Catarina, como os reservatórios de concreto, de fibra de vidro e de geomembrana.

MONITORAMENTO FÍSICO-QUÍMICO E BACTERIOLÓGICO DA ÁGUA DA CHUVA

Foram realizados exames bacteriológicos e análises físico-químicas de amostras retiradas da água da chuva, coletadas em três pontos dos sistemas-piloto instalados:

- Ponto 1 (P1): antes de atingir a superfície de captação;
- Ponto 2 (P2): após passar pela superfície de captação;
- Ponto 3 (P3): no interior do reservatório de armazenamento.

Na instalação suinícola, na qual foi realizado tratamento químico da água armazenada no reservatório, existem mais dois pontos de coleta:

- Ponto 4 (P4): após passar pelo sistema de desinfecção;
- Ponto 5 (P5): água do rio também fornecida aos animais.

As amostras de água da chuva para análise físico-química foram analisadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas - LAFQ da Embrapa Suínos e Aves, em Concórdia. Os exames bacteriológicos foram realizados no Centro de Diagnóstico de Sanidade Animal – Cedisa, em Concórdia.

Todos os parâmetros qualitativos foram analisados seguindo procedimentos do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. Os parâmetros selecionados para esta pesquisa foram: pH, condutividade, alcalinidade, turbidez, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, fósforo total, potássio, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total, sulfato total, coliformes totais e coliformes fecais, cloro residual livre, cobre, zinco, ferro, manganês, cálcio, magnésio, cloreto, e fluoreto.

A análise deste conjunto de parâmetros possibilitou verificar a influência da ardósia na qualidade da água armazenada no reservatório, já que a ardósia fica em contato direto com a água armazenada.

Foram realizadas cinco coletas, distribuídas nos meses de fevereiro a abril de 2011. Portanto, para cada parâmetro foi calculada a média dos cinco valores encontrados, assim como o desvio padrão. Para os parâmetros que se encontraram abaixo de seu limite de quantificação, considerou-se no resultado o próprio limite de quantificação, o que deixa a média calculada superior à média real. Isto explica o sinal de “inferior a” (<) em algumas médias calculadas. Cabe salientar que os limites de quantificação são definidos pela instrumentação existente no laboratório de análise.

Assim, o objetivo de analisar estes parâmetros foi verificar se a qualidade da água da chuva dos sistemas piloto implantados atende aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518 de 2004 do Ministério da Saúde; e observa as condições e padrões para as águas de classe 3 da Resolução CONAMA 357, de março de 2005. Isso permite verificar a viabilidade de utilização da água destes sistemas para dessedentação animal (suínos e aves).

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

EXECUÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

Na armadura da base de concreto armado foi utilizada uma tela soldada com malha de 15 x 15 cm e fio 4,2 mm em aço CA-60. Na execução das bases dos reservatórios foram utilizados, no menor, concreto preparado no local da obra, com betoneira, e no maior, concreto usinado. O concreto usinado foi a solução mais econômica, mesmo considerando que a usina fica a cerca de 40 km da obra.

Para a execução das paredes laterais destes reservatórios, com placas de ardósia, trabalharam quatro operários, sendo um pedreiro e três serventes. Estes quatro operários montaram em torno de 12 placas de ardósia por hora trabalhada. Ressalta-se que cada placa tem 2,50 x 0,40 x 0,06 m e pesa em torno de 137 kg.

As equipes que construíram cada reservatório foram distintas, e nunca tinham trabalhado com este sistema construtivo com placas de ardósia, nem ferrocimento.

As coberturas metálicas dos dois reservatórios foram executados por equipes de uma empresa de funilaria, com larga experiência na execução de silos metálicos.

A execução dos reservatórios de placas de ardósia foi rápida e simples. Os reservatórios de 80 e 250 m³ foram construídos em 9 e 11 dias, respectivamente.

A Figura 1 apresenta duas etapas de execução do reservatório de ardósia: a montagem das placas (a) e a execução da camada estrutural em ferrocimento (b). Na Figura 2 são apresentados os reservatórios de 80 (a) e 250 m³ (b).

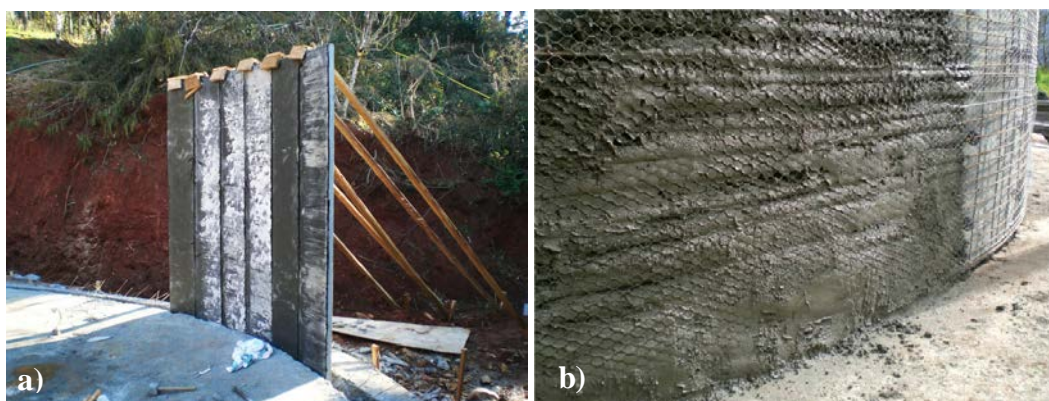


Figura 1: Montagem das placas de ardósia (a) e execução da camada estrutural (b).



Figura 2: Reservatórios de 80 (a) e 250 m³ (b).

CUSTOS DE EXECUÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

Os custos de execução dos reservatórios de armazenamento estão discriminados na Tabela 1.

Tabela 1: Custos de execução dos reservatórios de placas de ardósia.

Item	Reserv. 80m³	Reserv. 250m³
Laje	R\$ 1.764,95	R\$ 3.048,44
Pedras	R\$ 351,33	R\$ 524,12
Estrutura (ferrocimento)	R\$ 2.737,71	R\$ 4.580,08
Tubos e conexões	R\$ 485,05	R\$ 485,05
Cobertura	R\$ 1.460,00	R\$ 4.490,00
Mão-de-obra	R\$ 1.000,00	R\$ 1.400,00
TOTAL	R\$ 7.799,03	R\$ 14.527,68

Para uma capacidade de 200 m³, um reservatório de concreto custa em média R\$33.000,00 e o tempo médio de execução é de 25 dias (RURAL BEBEDOUROS, 2010). Em fibra de vidro, o custo fica em torno de R\$ 29.600,00 (GONÇALVES et al., 2004) e o tempo de execução é de 2 a 3 dias (incluindo a instalação de quatro caixas d'água de 20 m³, execução da base, dispositivos de proteção sanitária e etc). Portanto, mesmo considerando uma capacidade inferior à máxima estabelecida neste trabalho, o custo para executar reservatórios de concreto e de fibra de vidro é duas vezes maior que o custo para executar reservatórios de placas de ardósia.

Para uma capacidade de 300 m³, um reservatório de geomembrana de PEAD custa em média R\$ 12.100,00 e o tempo de execução é de 10 dias (BIOTER, 2010). Percebe-se que, mesmo considerando uma capacidade superior à máxima utilizada neste trabalho, o custo deste reservatório é inferior ao custo do reservatório de ardósia de 250 m³, porém os reservatórios de geomembrana apresentam inconveniências que devem ser consideradas, tais como: baixa durabilidade; necessidade de escavação (reservatório enterrado); dificuldade na manutenção e identificação de furos/vazamentos.

MONITORAMENTO FÍSICO-QUÍMICO E BACTERIOLÓGICO DA ÁGUA DA CHUVA

Os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas do sistema-piloto implantado na escola e do sistema-piloto implantado na instalação suinícola estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Foram calculados a média e o desvio padrão para cada parâmetro analisado.

Tabela 2: Resultados de qualidade da água do sistema-piloto da escola pública.

Parâmetro	Unidade	VMP Portaria 518	CONAMA 357	Sistema-piloto Escola					
				P1		P2		P3	
				Média	σ	Média	σ	Média	σ
Alcalinidade	mg/L	x	x	3,3	2,2	74,4	54,2	7,1	1,8
pH		6 a 9,5	6 a 9	6,5	0,3	7,1	0,5	7,0	0,3
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	x	x	22,2	3,6	144,0	125,6	29,0	10,8
Sólidos totais	mg/L	x	x	<110	0	4593	48133	<110	0
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000	x	11	2	82	55	15	5
Amônia	mg/L	1,50	13,30	0,43	0,22	16,71	21,06	0,21	0,18
Turbidez	UNT	5	100	<5	0	519	449	<5	0
Ferro	mg/L	0,3	5	<3	0,00	<3	0,00	<3	0,00
Cobre	mg/L	2	0,013	<2	0,00	<2	x	<2	0,00
Zinco	mg/L	5	5	<0,4	0,00	<0,5	0,12	<0,4	0,00
Manganês	mg/L	0,1	0,5	<1	0,00	1,22	0,49	<1	0,00
Coliformes Totais	UFC/mL	Ausência em 100 mL	x	x	x	60	78	0	0,5
Coliformes Fecais	UFC/mL	Ausência em 100 mL	1000 em 100 mL	x	x	38	71	0	0
Cálcio	mg/L	x	x	<0,61	0,22	5,99	5,95	2,26	1,43
Magnésio	mg/L	x	x	<0,15	0,04	<3,25	4,55	<0,18	0,07
Potássio	mg/L	x	x	<2	0,00	<4,68	4,64	<2	0,00
Fósforo	mg/L	x	0,15	<0,58	0,14	<1,42	1,50	<0,5	0,00
Nitrato	mg/L	10	10	0,32	0,32	0,09	0,10	1,94	0,78
Nitrito	mg/L	1	1	<0,54	0,00	<0,54	0,00	x	x
Fluoreto	mg/L	1,5	1,4	0,01	0,02	0,04	0,03	0,02	0,03
Cloreto	mg/L	250	250	0,14	0,24	1,10	0,60	0,33	0,49
Sulfato	mg/L	250	250	0,10	0,16	5,06	4,08	0,58	0,20

Tabela 3: Resultados de qualidade da água do sistema-piloto da instalação suinícola.

Parâmetro	Unidade	Sistema-piloto Instalação Suinícola									
		P1		P2		P3		P4		P5	
		Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
Alcalinidade	mg/L	2,5	2,2	37,1	25,3	18,0	13,0	13,2	8,5	30,3	12,2
pH		6,3	0,3	6,9	0,5	7,2	0,2	6,4	0,7	7,0	0,3
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	22,2	6,3	139,5	16,6	64,6	12,2	80,6	14,4	86,4	13,5
Sólidos totais	mg/L	<110	0	711	541	<110	0	<148	36	144	69
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	11	3	70	8	32	6	41	7	43	7
Amônia	mg/L	0,96	0,62	1,42	1,31	0,07	0,04	0,03	0,01	0,02	0,01
Turbidez	UNT	<5	0,0	64	49	<5	0	<5	0	91	40
Ferro	mg/L	<3	0,00	<3	0,00	<3	0,00	<3	0,00	3,05	1,09
Cobre	mg/L	<2	0,00	<2	0,00	<2	0,00	<2	0,00	<2	0,00
Zinco	mg/L	<0,4	0,00	0,74	0,23	<0,4	0,00	<0,4	0,00	<0,4	0,00
Manganês	mg/L	<1	0,00	<1	0,00	<1	0,00	<1	0,00	<1	0,00
Cloro residual livre	mg/L	x	x	x	x	x	x	2,50	0,00	0,20	0,26
Coliformes Totais	UFC/mL	x	x	64	65	19	18	1	3	20	29,85
Coliformes Fecais	UFC/mL	x	x	29	42	5	8	0	0	6	10,43
Cálcio	mg/L	<0,50	0,00	18,61	3,23	8,17	1,46	10,18	2,60	6,61	1,37
Magnésio	mg/L	<0,18	0,09	1,77	0,33	<0,47	0,21	<0,59	0,26	<3,27	1,89
Potássio	mg/L	<2	0,00	8,26	6,08	2,88	0,85	2,19	0,31	4,18	0,38
Fósforo	mg/L	<0,50	0,00	1,71	0,71	<0,69	0,31	<0,74	0,46	4,17	2,19
Nitrato	mg/L	0,31	0,29	8,21	8,66	3,34	0,69	3,17	0,23	5,83	4,55
Nitrito	mg/L	<0,54	0,00	0,71	0,03	<0,54	0,00	x	x	x	x
Fluoreto	mg/L	0,02	0,03	0,10	0,07	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05
Cloreto	mg/L	0,10	0,09	0,62	0,38	4,59	8,92	14,72	8,70	2,03	0,65
Sulfato	mg/L	0,10	0,17	1,81	1,78	0,47	0,27	0,46	0,32	0,68	0,31

A partir dos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, observa-se que a qualidade da água da chuva melhora significativamente do Ponto 2, após passagem pelo telhado, para o Ponto 3, no interior do reservatório, e mais ainda do Ponto 3 para o Ponto 4, após desinfecção. Isso comprova a eficiência dos seguintes dispositivos: de descarte de sólidos, de desvio de água dos primeiros escoamentos e de proteção sanitária do reservatório de acumulação (entrada com freio d'água junto ao fundo do reservatório, conjunto flutuante de sucção junto a superfície da água e sifão extravasor dotado com tubulação de sucção pelo fundo do reservatório). E ainda, pelo sistema de desinfecção utilizados neste trabalho.

No sistema-piloto da suinocultura, percebe-se que a água da chuva após tratamento químico (Ponto 4) é muito melhor que a água do rio também fornecida aos animais (sem tratamento), principalmente no que diz respeito aos parâmetros coliformes totais e fecais, turbidez, e ferro. Os resultados também comprovam que, a água armazenada no reservatório (Ponto 3), sem tratamento químico, também se apresentou com melhor qualidade que as águas superficiais também fornecidas aos animais (Ponto 5), para praticamente todos os parâmetros.

Por meios destes resultados, também foi possível constatar que a pedra ardósia em contato com a água armazenada não compromete sua qualidade, já que todos os parâmetros analisados na água coletada no interior do reservatório (Ponto 3), se apresentaram abaixo dos valores máximos permitidos pela Portaria nº 518, e

também observam as condições e padrões para as águas de classe 3 da Resolução CONAMA 357, com exceção dos parâmetros bacteriológicos, os quais não têm relação com a ardósia.

Os desvios elevados, próximos ou mesmo superiores às suas respectivas médias mostram que existe uma grande variabilidade nos resultados encontrados.

A seguir, está a análise dos resultados de cada parâmetro analisado.

AMÔNIA, NITRITO E NITRATO

De acordo com Sperling (2005) o nitrogênio, na forma de amônia, está associado a uma poluição recente, enquanto que o nitrogênio, na forma de nitrato, está associado a uma poluição mais remota. Isso explica a concentração média de amônia de 16,7 mg/L no Ponto 2 do Sistema-piloto da escola. Este valor é superior ao máximo permitido pela Portaria nº 518, de 1,5 mg/L, e também superior ao padrão para as águas de classe 3 da Resolução CONAMA 357, e 13,3 mg/L. Como já foi dito, no Ponto 2 são coletadas as águas recém contaminadas pela área de captação, as quais contêm grande quantidade de matéria orgânica e sólidos.

Com relação às concentrações médias de nitrato, todas se apresentaram abaixo dos padrões estipulados pela Portaria e pela Resolução, ambos de 10 mg/L.

Concentrações de nitrito foram verificadas nos pontos 1 e 2 do sistema-piloto da escola, e nos pontos 1, 2, e 3 do sistema-piloto da instalação suinícola. Porém, todas as concentrações médias se apresentaram abaixo dos padrões estipulados pela Portaria e pela Resolução, ambos de 1 mg/L.

PH

O pH de todas as amostras não foi inferior a 6 nem superior a 7,5, estando de acordo com a Portaria nº 518, que recomenda que o pH seja mantido na faixa de 6 a 9,5. O pH também se encontra na faixa de 6 a 9, condição para as águas de classe 3 da Resolução CONAMA 357. Normalmente, a água da chuva é levemente ácida, com valores em torno de 5,6. Como as águas não foram coletadas logo após a ocorrência da precipitação, ficando até mesmo alguns dias armazenadas nos amostradores, os pH das águas coletadas nos Pontos 1, sem interferência do telhado, podem estar acima de 6 por esta razão.

ALCALINIDADE

Em todas as amostras, a alcalinidade é representada por apenas bicarbonatos, já que o pH está entre 4,4 e 8,3. A alcalinidade não tem significado sanitário para a água potável, porém em elevadas concentrações confere um gosto amargo para a água. Trata-se de uma determinação importante no controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução da dureza e prevenção da corrosão em tubulações (SPERLING, 2005). É um parâmetro importante no caso de águas tratadas. A alcalinidade se apresentou mais elevada no Ponto 2 de ambos os sistemas-piloto, em função dos poluentes depositados nos telhados. A alcalinidade também pode ter relação com a composição química do material da área de captação. As águas superficiais coletadas no Ponto 5, também apresentaram um teor elevado de alcalinidade, cujo valor foi semelhante ao encontrado no Ponto 2 do mesmo sistema-piloto.

TURBIDEZ

No Ponto 2 do sistema-piloto da escola, a turbidez foi elevada, com concentração média de 519 NTU. Nos pontos 2 e 5 do sistema-piloto da instalação suinícola, a turbidez foi de 64 e 91 NTU, respectivamente, valores bem superiores ao máximo permitido pela Portaria nº 518, de 5 NTU, porém inferiores à condição para as águas de classe 3 da Resolução 357, de 100 NTU. Para o Ponto 5 este resultado é alarmante, tendo em vista que as águas superficiais coletadas neste ponto também são fornecidas aos animais, sem tratamento.

FERRO E MANGANÊS

Em se tratando do ferro e do manganês, com a instrumentação existente no laboratório de análise físico-química da Embrapa não foi possível alcançar valores iguais ou inferiores aos máximos permitidos pela Portaria nº 518 para estes dois elementos, de 0,3 e 0,1 mg/L, respectivamente. O limite de quantificação do ferro e do manganês é de 3 e 1 mg/L, respectivamente. Todas as amostras apresentaram uma concentração de ferro abaixo do limite de quantificação, com exceção do Ponto 5 do sistema-piloto da instalação suinícola. Este ponto apresentou uma concentração de ferro de 3,05 mg/L, muito acima do valor máximo permitido pela Portaria nº 518.

Considerando a Resolução 357, as concentrações de ferro encontradas estão abaixo do padrão para as águas de classe 3, de 5 mg/L.

Com relação aos resultados do elemento manganês, as amostras apresentaram uma concentração média de manganês inferior ao limite de quantificação, que por sua vez é superior ao valor máximo permitido pela Portaria nº 518 e ao padrão para as águas de classe 3 da Resolução 357, de 0,5 mg/L. Portanto, não é possível saber se este parâmetro está comprometendo a água efetivamente. Somente o Ponto 2 do sistema-piloto da escola apresentou uma concentração média de manganês de 1,22 mg/L, superior ao limite de quantificação. Este resultado está dentro do esperado, já que a água coletada no Ponto 2 é bastante contaminada pelo telhado e ainda não passou por nenhum tipo de tratamento.

COLIFORMES TOTAIS E COLIFORMES FECALIS

Não foi feita análise bacteriológica no Ponto 1 dos dois sistemas-piloto, em função da baixa probabilidade de haver ocorrência de coliformes totais e fecais na água de chuva sem a interferência de superfície de coleta. A presença desses microorganismos nas amostras de água indica a contaminação por fezes animais de sangue quente, como aves e gatos. No sistema-piloto da escola, foi verificada a presença de coliformes totais e fecais no Ponto 2, após a passagem pelo telhado. No sistema-piloto da instalação suinícola, foi verificada a presença de coliformes totais e fecais nos pontos 2, 3 e 5, enquanto que no ponto 4, após a água passar por tratamento químico, houve somente uma baixa ocorrência de coliformes totais, de 1 NFC/mL. Este resultado comprova a eficiência do tratamento químico, feito com pastilhas de cloro, além da excelente qualidade da água da chuva para dessedentação animal. Inclusive, é interessante observar que em termos de parâmetros bacteriológicos, a água da chuva armazenada e tratada é muito melhor do que as águas superficiais, também fornecidas aos animais e coletadas no Ponto 5.

Para a Portaria nº 518, a água para consumo humano deve ter ausência de Coliformes Totais e Fecais em 100 mL de amostra. A condição para as águas de classe 3 da Resolução 357 para Coliformes Termotolerantes (fecais) é de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mL de amostra.

FLUORETO

Em todas as amostras analisadas a concentração média de fluoreto ficou abaixo do valor máximo permitido pela Portaria nº 518, de 1,5 mg/L, e abaixo do padrão para as águas de classe 3 da Resolução 357, de 1,4 mg/L. Geralmente os índices elevados de fluoreto são encontrados em águas subterrâneas e águas tratadas.

CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, CLORETO E SULFATO

As baixas concentrações encontradas das formas iônicas, tais como cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}); potássio (K); cloreto (Cl^-); e sulfato (SO_4^{--}), podem ser justificadas pela não proximidade com a água do mar, já que a região de estudo fica no Oeste Catarinense, longe do Oceano Atlântico.

As baixas concentrações dos íons cálcio e magnésio implicam em uma baixa dureza, o que significa que, na região de estudo, a água da chuva pode ser utilizada em processos industriais em que se utiliza sabão.

FÓSFORO

O fósforo total apresentou-se em concentrações, na sua maioria, menores que 1,5 mg/L, tendo provável influência de poeiras e limos acumulados nas áreas de captação. Destaca-se o Ponto 5 do Sistema-piloto da instalação suinícola, que apresentou uma concentração média de 4,17 mg/L.

Considerando o padrão para as águas de classe 3 da Resolução 357, de 0,15 mg/L, todas as amostras podem não estar observando este padrão de qualidade das águas. Porém, cabe lembrar que o fósforo não apresenta problemas de ordem sanitária nas águas de abastecimento, quando em elevadas concentrações este elemento pode conduzir a um crescimento exagerado de algas (eutrofização) (SPERLING, 2005).

Este parâmetro pode ser decorrente da dissolução de compostos do solo; decomposição da matéria orgânica; despejos domésticos e industriais; detergentes; fertilizantes; e excrementos de animais (SPERLING, 2005).

SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

Os sólidos totais foram significativos nos Pontos 2 de ambos os sistemas-piloto, com destaque para o sistema-piloto da escola, que teve uma concentração média de sólidos totais de 4.593 mg/L. Os valores mais elevados de sólidos podem estar ligados com as ocorrências de chuvas de grande intensidade. Este fato se deve à velocidade que as precipitações pluviométricas exercem sobre o telhado facilitando a remoção das partículas acumuladas na superfície do mesmo.

Os sólidos totais dissolvidos, para todas as amostras, apresentaram concentrações médias inferiores ao valor máximo permitido pela Portaria nº 518, de 1.000 mg/L.

CONDUTIVIDADE

A condutividade da água de chuva sem passar pelos telhados (Ponto 1) ficou com uma concentração média de 22,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para ambos os sistemas-piloto. Este valor é perfeitamente normal quando se trata de água da chuva sem grandes interferências. Após a passagem pelos telhados, houve um incremento na condutividade, o que pode ser explicado pelo depósito de ácidos inorgânicos, bases e sais nos mesmos. Estes compostos também são encontrados nas águas do rio próximo à propriedade, o que explica o maior teor de condutividade no Ponto 5 do sistema-piloto da instalação suinícola.

ZINCO E COBRE

Os metais zinco e cobre apresentaram concentrações médias inferiores aos limites de quantificação da metodologia analítica utilizada, de 0,4 e 2 mg/L, respectivamente. Isso significa que as concentrações médias encontradas de zinco e cobre estão de acordo com os padrões estipulados pela Portaria nº 518, de 5 e 2 mg/L, respectivamente. Porém, em se tratando do cobre, de acordo com o padrão para as águas de classe 3 da Resolução 357, de 0,013 mg/L, as concentrações encontradas podem não observar este padrão de qualidade das águas.

CLORO RESIDUAL LIVRE

A análise de cloro residual livre foi realizada somente nas amostras com tratamento químico (Ponto 4) e nas águas superficiais (Ponto 5), também fornecida aos animais. Desta forma, este parâmetro foi verificado somente no sistema-piloto da instalação suinícola. A Portaria nº 518 recomenda que o teor máximo de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg/L. Sendo assim, a concentração média de cloro residual livre, encontrada no Ponto 4 do sistema-piloto da instalação suinícola, de 2,5 mg/L, está acima do valor recomendado. Constata-se que é preciso um monitoramento mais eficaz do dispositivo de desinfecção, a fim de ter um maior controle da concentração deste parâmetro na água encaminhada aos animais.

CONCLUSÕES

As análises físico-químicas e bacteriológicas indicaram que a qualidade da água da chuva melhora significativamente do Ponto 2, após passagem pelo telhado, para o Ponto 3, no interior do reservatório, e mais ainda do Ponto 3 para o Ponto 4, após desinfecção. Isso comprova a eficiência dos seguintes dispositivos: de descarte de sólidos, de desvio de água dos primeiros escoamentos e de proteção sanitária do reservatório de acumulação (entrada com freio d'água junto ao fundo do reservatório, conjunto flutuante de sucção junto a superfície da água e sifão extravasor dotado com tubulação de sucção pelo fundo do reservatório). E ainda, pelo sistema de desinfecção utilizados neste trabalho.

No sistema-piloto da suinocultura, percebe-se que a água da chuva após desinfecção (Ponto 4) é muito melhor que as águas superficiais também fornecidas aos animais (Ponto 5), principalmente no que diz respeito aos parâmetros coliformes totais e fecais, turbidez, e ferro. Os resultados também comprovam que, a água armazenada no reservatório (Ponto 3), sem desinfecção, também se apresentou com melhor qualidade que a água do rio, para praticamente todos os parâmetros.

Também foi possível constatar que a pedra ardósia em contato com a água armazenada não compromete sua qualidade, já que todos os parâmetros analisados na água coletada no interior dos reservatórios (Ponto 3), se apresentaram abaixo dos padrões estipulados pela Portaria nº 518, e também observaram as condições e padrões para as águas de classe 3 da Resolução CONAMA 357, com exceção dos parâmetros bacteriológicos, os quais não têm relação com a ardósia.

Este método construtivo possibilitou a execução do reservatório com maior facilidade e rapidez, melhor desempenho estrutural, e baixo custo global da obra. Ele deve apresentar maior durabilidade que o reservatório de ferrocimento, já que a água não fica em contato direto com a argamassa de revestimento das paredes do reservatório. Como a ardósia é uma rocha inerte, a armadura do reservatório fica mais protegida.

A ardósia, além de servir de forma para a camada de ferrocimento, é um material natural abundante na região central do Estado de Santa Catarina, além de ser inerte e ter alta durabilidade, baixo custo e com grande potencial de aplicação para reservatórios. Esta rocha é também encontrada com abundância em outros estados, e notadamente em Minas Gerais.

Esta nova tecnologia apresenta assim grande potencial de aplicação e viabilidade econômica, dependendo principalmente do custo de transporte destas pedras, que é quase sempre mais caro do que o valor pago na compra das mesmas. Neste experimento foi possível constatar que as pedras de ardósia são fáceis de serem perfuradas para passagem de tubulações, com serra copo de vídea. Elas também podem ser cortadas com facilidade com serra circular.

Sugere-se a continuidade de pesquisas com esta pedra em outras aplicações em saneamento, como em biodigestores rurais, e a pesquisa de outros tipos de pedra para a execução de reservatórios como rochas de calcário laminado, conhecidas comercialmente como "Pedra Cariri", disponível no Estado do Ceará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527 - Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
2. BIOTER. Disponível em: <<http://www.bioter.com.br>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2010.
3. GNADLINGER, J. (2006). Tecnologias de captação e manejo de água de chuva em regiões semi-áridas. Artigo Técnico. Fortaleza, 2006.
4. GONÇALVES, V. B. Estudo de viabilidade para a implantação de um sistema de captação e aproveitamento da água de chuva no prédio de salas de aula do centro tecnológico – etc. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.
5. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518. Controle e qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde; 2004.
6. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 357. Classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes. Ministério do Meio Ambiente; Conselho Nacional do Meio Ambiente; 2005.

7. PORTAL SÃO FRANCISCO. Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/rochas/rochas.php>. Acesso em 07 de setembro de 2010.
8. RURAL BEBEDOUROS. Disponível em: <www.ruralbebedouros.com> Acesso em: 20 de outubro de 2010.
9. SCHWEITZER, S. F. A. ; ANDRADE, M. A. N. . Implantação de um programa de uso eficiente da água contemplando um sistema de aproveitamento de água de chuva na Escola E. B. Manuel Pereira de Medeiros. In: Bernardete Wrublevski Aued; Célia Regina Vendramini.. (Org.). Educação do Campo - Desafios teóricos e práticos. 1 ed. Florianópolis: Insular, 2009, v. 1, p. 353-368
10. SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais; 2005.