

TRATAMENTO SIMPLIFICADO DE ÁGUAS PLUVIAIS VISANDO APROVEITAMENTO PARA FINS NÃO POTÁVEIS

Liane Y. K. NAKADA⁽¹⁾; Marcela F. MURAKAMI⁽²⁾; Rodrigo B. MORUZZI⁽³⁾

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo investigar uma estratégia simplificada de tratamento de águas pluviais, sem descarte de primeira chuva, com emprego de amido de milho como coagulante primário pré-filtração, para fins não potáveis. Para isso, foram coletadas diferentes amostras de água pluvial e empregada filtração única em meio filtrante constituído por camada única de areia em escala piloto, instalada nas dependências da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP campus Rio Claro. Foi utilizado amido de milho comercial em diferentes dosagens, as quais foram pré-estabelecidas em laboratório por meio de ensaios em unidade Jarteste. Parâmetros estabelecidos pela NBR 15527/07 foram monitorados antes e após o tratamento. Resultados obtidos sugerem que a estratégia estudada pode constituir eficiente tratamento simplificado de águas pluviais.

Palavras-chave: água pluvial, aproveitamento não potável, tratamento simplificado.

(1) Engenheira Ambiental, discente do curso de mestrado em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP campus Bauru, Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 CEP 17033-360 Vargem Limpa, Bauru/SP
lianenakada@gmail.com (19) 3287-4153 (19) 9135-2094

(2) Engenheira Ambiental, discente do curso de mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Rodovia Washington Luis, km. 235 CEP 13.565-905 São Carlos/SP
marcelamurakami@hotmail.com (19) 3534-8406 (19) 9785-8299

(3) Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo, Professor Assistente em Regime de Dedicção Integral à Docência e à Pesquisa da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP campus Rio Claro, Avenida 24 A, 1515 CEP 13506-900 Bela Vista, Rio Claro/SP
rmoruzzi@rc.unesp.br (19) 3526-9339

I. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Diante da problemática referente ao abastecimento de água, tanto em relação à vertente qualitativa quanto à quantitativa, é crescente a discussão sobre técnicas para o aproveitamento de águas pluviais, bem como para o reuso de águas. Ambas as práticas podem constituir importantes fontes alternativas de água para abastecimento.

As práticas de reuso consideram o tratamento de águas servidas como parte intrínseca do processo de reuso, enquanto as práticas de aproveitamento de águas pluviais mais difundidas dispensam o tratamento, sob as justificativas de que águas pluviais são relativamente limpas e os usos pretendidos, em geral, são não potáveis.

Para garantir o aproveitamento da água pluvial coletada, são imprescindíveis corretas instalação e manutenção do sistema de captação, bem como verificação da necessidade de tratamento da água armazenada, já que deficiências desses fatores podem ocasionar um risco à saúde pública (UNITED KINGDOM ENVIRONMENT AGENCY, 2008).

Segundo Gonçalves et al. (2006) deve-se considerar a qualidade da água nos três momentos distintos de um sistema de aproveitamento de água pluvial: na atmosfera, ao passar pela superfície de captação, e no reservatório de armazenamento.

Ao passar pela atmosfera a chuva sedimenta o material particulado (MP), e auxilia na dissolução de gases. Além disso, se comporta como agente agregador, pois captura os particulados os quais agem como núcleos de condensação ou são envoltos pelas gotas de nuvens, que aumentam ao se colidirem e formam gotas maiores, as quais originam a precipitação, que por sua vez inicia o processo de remoção por carreamento, um eficiente agente de limpeza da atmosfera também denominado deposição úmida (DANNI-OLIVEIRA & BAKONYI, 2003 apud ANNECCHINI, 2005).

As superfícies utilizadas para a captação pluvial interferem diretamente nas características naturais da água, visto que durante os períodos de estiagem ocorre o fenômeno de deposição seca dos compostos presentes na atmosfera, devido à sedimentação gravitacional, à interceptação de material particulado e/ou à absorção de gases por superfícies (GONÇALVES, 2006).

No reservatório de armazenamento a qualidade da água pluvial pode sofrer alterações, conforme demonstrado por Murakami e Moruzzi (2008).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), polímeros sintéticos e naturais (amidos em geral) têm sido utilizados em tratamento de água de abastecimento como auxiliares de coagulação, floculação e filtração.

Tendo em vista as potencialidades do aproveitamento de águas pluviais por meio da adoção de técnicas adequadas de tratamento, é proposto o presente trabalho, com o intuito de apresentar considerações sobre uma estratégia simplificada de tratamento de água pluvial para fins não potáveis, sem descarte de primeira chuva, empregando amido de milho como coagulante primário.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

O município de Rio Claro localiza-se a 173 km a noroeste da capital do estado de São Paulo, estende-se por uma área de 498 km² e abriga os biomas de Cerrado e Mata Atlântica, e a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, a qual possui 2.230,53 hectares com a maior variedade de espécies de eucalipto do Brasil.

Rio Claro pertence à bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, a qual se estende por aproximadamente 1710 km².

O Censo de 2009 estimou uma população de 191.886 habitantes.

2.2. Estação Piloto de Coleta e Tratamento de Águas Pluviais

A estação piloto de coleta e tratamento de águas pluviais encontra-se instalada nas dependências do Centro de Estudos Ambientais (CEA), unidade complementar da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), sediado no campus de Rio Claro.

O sistema de coleta possui uma área projetada de, aproximadamente, 400m² de telhado constituído por telha cerâmica, dotado de duas águas com inclinação de 5% e é composto por três reservatórios com capacidade para 200L cada, os quais são utilizados para o descarte da primeira chuva, e dois reservatórios com capacidade para 3000L cada, os quais são utilizados no processo de tratamento, o primeiro para armazenamento da água a ser tratada, e o segundo para armazenamento da água após o tratamento.

2.3. Coleta de água pluvial

Para o presente estudo foram utilizadas águas pluviais coletadas sem descarte, visto que este estudo visa à avaliação do tratamento simplificado proposto.

Foram coletadas amostras de águas pluviais em 3 de abril de 2008, após 9 dias de estiagem; e em 21 de novembro de 2008, após 6 dias de estiagem, de acordo com os levantamentos feitos na estação meteorológica do Centro de Análise e Planejamento Ambiental – CEAPLA/UNESP Rio Claro.

2.4. Parâmetros analisados

Foram analisados os parâmetros recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) que dispõe sobre aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas, de acordo com o apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de qualidade de água para uso não potável de acordo com as recomendações da norma NBR 15527 (ABNT,2007)

Parâmetro	Valor
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Ausência em 100 mL
Turbidez	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes, da sua utilização)	< 15 uH
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço ou carbono ou galvanizado

NOTAS

- 1 Para lavagem de roupas deve ser feita a análise de *Cryptosporidium parvum* anualmente
- 2 uT é a unidade de turbidez
- 3 uH é a unidade Hazen

FONTE: NBR 15527(ABNT, 2007)

Todas as análises e medições em escala de laboratório seguiram os procedimentos descritos no *Standard Methods 21st* de 2005.

2.5. Uso de Amido Natural no Tratamento de Água

Segundo Bernardo & Dantas (2005), o emprego de amido reduz a possibilidade de ocorrência do transpasse e concorre para que sejam usadas taxas de filtração maiores que as tradicionais.

As principais fontes comerciais de amido são milho, batata, mandioca e trigo, os quais ocorrem na natureza como minúsculos grânulos que possuem características inerentes, tais como forma e tamanho.

Para o presente estudo foi utilizada uma solução de amido natural de milho preparada com o produto comercial, a partir de uma adaptação da metodologia de gelatinização apresentada por Di Bernardo e Campos (1988), de acordo com os seguintes procedimentos: um béquer que comporta um volume de 250mL foi colocado sobre balança analítica, que foi tarada com o peso do béquer; em seguida, iniciou-se o processo de pesagem de amido de milho até atingir 200mg; após a pesagem do amido, foi medido o volume de 100mL de água destilada, com utilização de proveta graduada; adicionou-se água ao amido, e o béquer foi levado a aquecimento, com emprego de placa de amianto e utilização de bastão de vidro para proporcionar mistura e constante agitação, a fim de evitar a formação de coágulos; a mistura foi retirada do aquecimento quando iniciou a ebulição; por fim, o volume inicial da mistura foi completado com água destilada.

2.6. Jarteste

O Jarteste é uma unidade para ensaios de coagulação-floculação-sedimentação. O equipamento utilizado nesta pesquisa é constituído por dispositivos para coleta simultânea de amostras dos seis recipientes com capacidade para 2L cada; e painel digital para o ajuste do gradiente de velocidade, que pode variar entre 10 s^{-1} e 2000 s^{-1} .

As amostras de água pluvial foram submetidas aos ensaios em Jarteste, com o intuito de definir a dosagem de amido de milho a ser empregada no processo de filtração em escala piloto.

Foram adicionados 2L de água pluvial previamente homogeneizada em cada um dos seis jarros do Jarteste. Com utilização de pipetador automático, as dosagens de amido de milho a serem analisadas foram adicionadas a cada um dos 6 dosadores do Jarteste. Os 6 jarros do Jarteste receberam diferentes dosagens de solução de amido de milho simultaneamente. Durante 30 minutos o Jarteste manteve o gradiente de rotação de 45 s^{-1} , com o intuito de simular a velocidade de mistura em escala plena, iniciando-se, após esse período, as coletas simultâneas das amostras.

Às amostras de água pluvial coletadas em 3 de abril de 2008, após 9 dias de estiagem, foram aplicadas as seguintes dosagens de solução de amido de milho em Jarteste: 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5 e 9,0 mg/L.

Às amostras de água pluvial coletadas em 21 de novembro de 2008, após 6 dias de estiagem, foram aplicadas as seguintes dosagens de solução de amido de milho em Jarteste: 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 e 6,0 mg/L.

2.7. Filtração

A filtração em laboratório foi realizada em papel de filtro Whatman 40 (porosidade média de 8 micrometros).

Em escala piloto, foi utilizado filtro de camada única de areia (coeficiente de desuniformidade $<1,6$; tamanho dos grãos entre 0,42 e 1,41mm; tamanho efetivo dos grãos entre 0,45 e 0,55mm).

As amostras de água pluvial coletadas em 3 de abril de 2008, após 9 dias de estiagem, foram submetidas apenas à filtração em escala de laboratório.

A água pluvial coletada em 21 de novembro de 2008 foi tratada em escala piloto com a dosagem de solução de amido de milho que apresentou melhores resultados em escala de laboratório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Água pluvial coletada em 3 de abril de 2008

3.1.1. Água Pluvial sem tratamento

A Tabela 2, a seguir, apresenta os resultados obtidos para os parâmetros recomendados pela NBR 15527/2007 da água pluvial coletada em 03 de abril de 2008, sem descarte, a ser submetida à filtração com diferentes dosagens de solução de amido de milho, em escala de laboratório.

Tabela 2: Parâmetros qualitativos da água pluvial sem descarte e sem tratamento

pH	Cor aparente (uH)	Turbidez (UT)	Coliformes Totais (NMP em 100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP em 100mL)
7,7	34	8,84	238,2	3

A partir da Tabela 2 verifica-se que a água pluvial, sem tratamento, coletada sem descarte de primeira chuva em 03 de abril de 2008, não satisfaz os valores recomendados pela NBR 15527/2007 para os parâmetros de qualidade (Ausência de Coliformes Totais em 100mL de amostra, ausência de Coliformes Termotolerantes em 100mL de amostra, limite máximo de 15uH para cor aparente, e turbidez igual ou inferior a 2UT para usos mais restritivos, e igual ou inferior a 5UT para usos menos restritivos).

3.1.2. Escala de laboratório

A Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros cor, turbidez e pH, para as amostras de água pluvial coletadas em 03 de abril de 2008, submetidas à filtração em papel de filtro Whatman 40 após adição de diferentes dosagens de solução de amido de milho (0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5 e 9,0 mg/L).

Tabela 3: Dosagens de solução de amido de milho (mg/L) e valores de cor aparente remanescente (uH), turbidez remanescente (UT) e pH para amostras filtradas em papel de filtro Whatman 40

Dosagem (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (UT)	pH
0,00	19,00	0,98	7,42
0,10	17,00	1,04	7,30
0,20	29,00	1,08	7,22
0,40	16,00	1,09	7,11
0,60	20,00	1,20	7,60
0,80	26,00	1,17	7,15
1,00	52,00	1,86	7,70
1,50	29,00	2,15	7,43
2,00	54,00	2,15	7,12
2,50	51,00	2,88	6,80
3,00	54,00	3,01	6,87
3,50	70,00	3,19	6,87
4,00	34,00	4,36	7,10
4,50	28,00	2,20	7,12
5,00	12,00	2,06	7,13
5,50	28,00	2,39	7,10
6,00	12,00	4,64	7,64
6,50	14,00	1,23	6,73
7,00	4,00	1,40	6,90
7,50	12,00	1,70	7,09
8,00	5,00	1,62	7,00
8,50	12,00	1,77	7,04
9,00	11,00	1,53	7,02

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3 sugere-se que não há uma relação linear entre as dosagens de solução de amido de milho e os parâmetros cor, turbidez e pH.

A partir da análise da Tabela 3 é possível notar que, para o parâmetro cor, nem todas as amostras submetidas à filtração em papel de filtro Whatman 40 após adição de diferentes dosagens de solução de amido de milho apresentaram valores recomendados pela NBR 15527/2007 (máximo de 15uH), sendo que o melhor resultado obtido foi a redução de 34uH para 4uH, correspondente à dosagem de 7mg/L de solução de amido de milho.

A partir da análise da Tabela 3 é possível observar que, para o parâmetro turbidez, todas as amostras submetidas à filtração em papel de filtro Whatman 40 após adição de diferentes dosagens de solução de amido de milho apresentaram valores recomendados pela NBR 15527/2007 para usos menos restritivos (máximo de 5UT).

Para usos mais restritivos, nem todas as amostras apresentaram valores recomendados pela NBR 15527/2007 (máximo de 2UT).

O melhor resultado obtido foi a redução de 8,84UT para 0,98UT, correspondente à filtração sem dosagem de solução de amido de milho.

A dosagem de solução de amido de milho que apresentou melhor resultado para o parâmetro turbidez foi a de 0,10 mg/L, com residual de turbidez de 1,04UT.

A partir da análise da Tabela 3 é possível verificar que, para o parâmetro pH, todas as amostras submetidas à filtração em papel de filtro Whatman 40 após adição de diferentes dosagens de solução de amido de milho apresentaram valores recomendados pela NBR 15527/2007 (entre 6,0 e 8,0).

3.2. Água pluvial coletada em 21 de novembro de 2008

3.2.1. Escala de laboratório

A Tabela 4, a seguir, apresenta os resultados obtidos para a água pluvial coletada sem volume de descarte em 21 de novembro de 2008, sem tratamento (água bruta); e filtrada uma vez em laboratório após adição de diferentes dosagens de solução de amido de milho (1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 e 6,0 mg/L).

Tabela 4: Dosagens de solução de amido de milho (mg/L) e valores de cor aparente remanescente (uH) e turbidez remanescente (UT) para amostras filtradas em papel de filtro Whatman 40

Dosagem (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (UT)
Água bruta	75	10,8
1,00	22	1,94
2,00	22	1,86
3,00	23	1,99
4,00	22	1,81
5,00	23	1,78
6,00	22	1,75

Ao observar a Tabela 4 é possível notar que para o parâmetro cor aparente a maior eficiência de remoção foi de 70,67%, correspondente às dosagens de 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 mg/L de amido de milho. Já para o parâmetro turbidez, a maior eficiência de remoção foi de 83,8%, correspondente à dosagem de 6,0 mg/L de solução de amido de milho.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4, a dosagem de solução de amido de milho empregada em escala piloto foi de 6,0 mg/L.

3.2.2. Escala Piloto

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises da água pluvial coletada em 21 de novembro de 2008, sem volume de descarte, antes e após ser submetida à filtração em camada única de areia (coeficiente de desuniformidade <1,6; tamanho dos grãos entre 0,42 e 1,41mm; tamanho efetivo dos grãos entre 0,45 e 0,55mm) com adição de 6,0 mg/L de solução de amido de milho.

Tabela 5: Resultados de pH, cor aparente, turbidez, contagem de coliformes totais e termotolerantes das amostras de água pluvial antes e após filtração com adição de 6,0 mg/L de solução de amido de milho

	pH	Cor Aparente (UH)	Turbidez (UT)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)
Antes da filtração	6,48	75	11,3	> 2419,2	839,0
Após filtração	5,73	22	4,61	> 2419,2	10

A partir da observação da Tabela 5 é possível verificar que ocorreram significativas remoções de cor aparente (de 75uH para 22uH), turbidez (de 11,30UT para 4,61UT) e coliformes termotolerantes (de 839NMP/100mL para 10 NMP/100mL), no entanto, o número de coliformes totais não foi alterado e o pH apresentou uma pequena queda, o que torna a água mais ácida.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o exposto é possível afirmar que o emprego de amido de milho como coagulante primário em processo de filtração pode constituir uma eficiente estratégia simplificada de tratamento de águas pluviais.

5. SUGESTÕES

Analisar a possibilidade do emprego de outras dosagens de solução de amido de milho em escala piloto;

Avaliar o emprego de outros meios filtrantes, os quais tenham eficiência na filtragem, aplicabilidade técnica e viabilidade econômica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem:

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo financiamento da pesquisa. Processos 477881/2006-8: “Estratégias simplificadas para tratamento de água pluvial visando o aproveitamento para uso não potável” e 477102/2007-7: “Tratamento físico-químico de águas cinzas e de água pluvial visando reuso/aproveitamento para uso não potável”.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de mestrado concedida a Marcela Ferreira Murakami.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa de mestrado concedida a Liane Yuri Kondo Nakada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na região metropolitana de vitória (ES)**. Dissertação (mestrado em engenharia ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo. 124 p. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro, 8 p. 2007.
- ATLAS AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ** (2002). Disponível em: <http://ceapla.rc.unesp.br/atlas/atlas.html>. Acesso em 01.Jun. 2010.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. v.1 e 2. São Carlos: Rima, 1565 p. 2005.
- GONÇALVES, R.F. et al. **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 352 p. 2006.
- MORUZZI, R.B.; NAKADA, L.Y.K. (2009). **Coleta e tratamento de água pluvial para fins não potáveis com emprego de amido de milho como coagulante primário em filtração cíclica em escala de laboratório**. Revista de Estudos Ambientais, v.11, p.51.
- MURAKAMI, M.F.; MORUZZI, R.B. (2008). Avaliação de parâmetros microbiológicos de água pluvial visando aproveitamento para fins não potáveis: o efeito do tempo de armazenamento. *HOLOS Environment* (online), v.8, p.21.
- NAKADA, L.Y.K. **Tratamento de água pluvial para fins não potáveis com utilização de amido de milho como coagulante em filtração cíclica em escala de laboratório**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro-SP.
- UNITED KINGDOM ENVIRONMENT AGENCY. **Harvesting Rainwater for Domestic Uses: an information guide**. Bristol, 2008. Disponível em <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0108BNPN-E-E.pdf>. Acesso em 01.jun.2010.