

Avaliação do amido natural como alternativa simples para tratamento de águas pluviais para fins de aproveitamento não potável

Natural corn starch evaluation as a simple alternative for rainwater treatment in non-potable uses

Msc. Marcela Ferreira Murakami

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP

e-mail:marcelamurakami@hotmail.com

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – UNESP, Rio Claro, SP

e-mail:rmoruzzi@rc.unesp.br

RESUMO: O presente estudo objetivou avaliar um procedimento simples para o tratamento da água pluvial empregando o amido natural de milho como coagulante primário no tratamento de águas pluviais para fins de aproveitamento em usos não potáveis em residências unifamiliares. Para tal, ensaios de coagulação/floculação e filtração direta foram realizados em laboratório, em amostras de águas pluviais coletadas sem descarte da primeira chuva e após passagem por telhado e piso. Foram aplicadas dosagens de solução de amido natural de milho em valores de 1 a 12 mg/L, com pH de coagulação médio em torno de 6,0. Para análise de resultados, foram comparados os residuais de cor aparente e turbidez obtidos, além de elaborados gráficos de análise estatística dos resultados. Os resultados indicaram que o tratamento empregado ocasionou reduções de cor aparente e turbidez em valores absolutos médios de 53 uH e 13 uT, equivalendo, em termos percentuais, a reduções médias de 70 e 80%, respectivamente.

ABSTRACT: This work aims to evaluate a simple procedure for rainwater treatment by applying natural corn starch as primary coagulant for non-potable harvesting households. For this purpose, coagulation, flocculation and filtration were carried out in lab essays in samples of roof and floor catchment without first-flush. There were investigated corn starch dosages from 1 to 12 mg/L in pH values around 6,0. The apparent color and turbidity were measured and the results were statistically presented. Results pointed out reductions around 70 and 80% for apparent color and turbidity (residuals of 53Hu and 13Tu), respectively.

1. INTRODUÇÃO

Manchetes envolvendo a temática hídrica fazem-se cada vez mais presentes nos noticiários, em âmbito nacional e internacional. Antagônicos, os problemas de escassez e inundações muitas vezes atingem uma mesma localidade, constituindo-se uma das grandes contradições do paradigma de desenvolvimento das cidades.

Entre as fontes alternativas de abastecimento, o aproveitamento de águas pluviais surge como prática potencialmente capaz de suprir a demanda hídrica para usos menos nobres, disponibilizando água de melhor qualidade para usos que assim a

necessitam. Além disso, indiretamente, em determinadas situações, a acumulação de águas pluviais pode ocasionar uma melhor distribuição da carga imposta aos sistemas de drenagem urbana, prevenindo picos de enchentes e inundações.

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais baseiam-se na coleta das precipitações escoadas sobre áreas impermeáveis e no armazenamento dessas águas em reservatórios de acumulação, para uso imediato ou ao longo do tempo. Dependendo da tipologia, da relação entre a oferta e a demanda e do princípio norteador de

cálculos dos reservatórios, a acumulação pode perdurar por todo o período de estiagem.

A qualidade das águas pluviais pode ser influenciada por diversos fatores, que vão desde a superfície de captação até a forma de seu armazenamento. Embora na grande maioria dos casos o aproveitamento de águas pluviais não objetive fins potáveis, padrões mínimos de qualidade para tais águas devem ser estabelecidos e respeitados, visto que as mesmas, em determinadas condições, podem acarretar danos aos constituintes do sistema de aproveitamento, como corrosões ou formação de incrustações, bem como apresentar risco à saúde de seus usuários.

Desde março de 2008 vigora, no Brasil, a norma NBR 15527/07(ref.[2]), elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e intitulada: “Água de Chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos”. Tal norma traz recomendações para aproveitamento de água pluvial captadas em coberturas que devem ser seguidas por todos os projetos que tenham como escopo o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis e apresenta parâmetros físico-químicos e microbiológicos que devem ser monitorados periodicamente, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de qualidade de águas pluviais para usos não potáveis segundo a NBR 15527/07

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT Para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente	Mensal	< 15 uH
pH	Mensal	Ajuste entre 6,0 e 8,0, no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado.

Fonte: ref.[2]

Nakada e Moruzzi [10] apresentam testes de hipóteses (teste-t) visando avaliar a variação temporal de parâmetro de qualidade de água pluvial escoada por telhado cerâmico, bem como a correlação entre esses parâmetros e os períodos de estiagem que antecederam cada evento. Para as 25 precipitações analisadas, os resultados dos testes-t aplicados aos parâmetros cor aparente e turbidez

permitem evidenciar que cada precipitação possui uma qualidade particular, a qual pode ser explicada por variações sazonais (relativas à temperatura, regime de ventos, período de estiagem), intensidade e duração da precipitação, presença de animais, dentre outros fatores que podem afetar a qualidade da precipitação escoada e armazenada. Dada a particularidade qualitativa das precipitações, é reforçada a ideia da necessidade de estudo de cada precipitação coletada, com o intuito de verificar a adequação de sua qualidade aos usos desejados, e a necessidade de tratamento. A grande variabilidade dos parâmetros de qualidade de água pluvial exige adaptabilidade do seu tratamento e torna a abordagem diferente daquelas usualmente empregadas no tratamento de águas para fins potáveis.

O descarte inicial da primeira chuva (*first flush*) é uma prática comumente empregada em casos de reservamento de águas pluviais e consiste na abstração dos milímetros iniciais (a NBR 15527/07 preconiza volumes entre 0,4 e 8,5 mm) da chuva antes de sua acumulação. Embora seja uma das medidas mais usuais em sistemas de aproveitamento de águas pluviais, o *first flush* nem sempre garante que a água armazenada apresente as condições mínimas de qualidade requeridas, não obstante este seja o único procedimento exigido em norma, como condição para captação de água de melhor qualidade. A própria faixa recomendada evidencia a controvérsia em relação à adoção de um valor confiável de descarte para um determinado uso. Além disso, dependendo do período de estiagem e de outros fatores, tais como direção dos ventos, intensidade de chuva, localização geográfica etc., a qualidade da água captada para aproveitamento pode apresentar variações para um mesmo valor de descarte. Ademais, a qualidade da água pode sofrer alterações no reservatório de armazenamento, conforme demonstrado por Murakami e Moruzzi [9]. Destaca-se que, embora a referida NBR seja restrita apenas às águas captadas em coberturas, até o momento esta é a única referência normativa brasileira sobre aproveitamento e por essa razão foi utilizada. Entretanto, vale enfatizar que as águas captadas em pisos merecem atenção especial, uma vez que podem conter elementos de poluição difusa, demandando tratamento apropriado.

Na Tabela 2 são apresentados alguns resultados extraídos de Nakada e Moruzzi [11] referentes ao

estudo do efeito do *first flush* em parâmetros de qualidade.

A partir da observação dos dados, tem-se que por muitas vezes medidas adicionais devem ser tomadas para tornar as águas pluviais armazenadas adequadas para aproveitamento, mesmo para utilização em fins não potáveis. A filtração direta apresenta-se como uma possível tecnologia para tratamento de águas pluviais, uma vez que águas pluviais escoadas por telhado apresentam frequentemente valores abaixo dos máximos recomendados para emprego dessa tecnologia.

De acordo com o manual de qualidade de água e tratamento da American Water Works Association – AWWA [1], a escolha do esquema de tratamento de água depende, dentre outros fatores, da qualidade da água bruta e da qualidade a que se deseja chegar. Gonçalves [6] descreve que os tratamentos mais empregados em águas pluviais são compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção, com cloro ou radiação ultravioleta.

Bastos [3] estudou o tratamento de precipitações coletadas após passagem por telhado por meio da filtração em filtros lentos (taxa de filtração $8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$). Os resultados obtidos em seus ensaios demonstraram eficiência na remoção de sólidos em suspensão e coliformes totais. Já May [8], em seu trabalho, utilizou um sistema de filtração com filtro rápido de pressão (taxa de filtração de $872 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$) com escoamento descendente e um sistema de desinfecção com hipoclorito de sódio para o tratamento de precipitações coletadas após passagem por telhado. Os resultados por ela obtidos indicaram que, apesar das medidas empregadas, nem todos os parâmetros enquadraram-se nos padrões definidos pela NBR 15527/07.

Segundo Richter e Azevedo Netto [12], águas brutas apresentam uma variedade de impurezas, em diversas faixas de tamanho, incluindo: microrganismos, substâncias húmicas, colóides, materiais em suspensão, dentre outros. Por apresentarem-se com carga superficial negativa, tais impurezas não conseguem aproximar-se no meio aquoso. Assim, para removê-las, é preciso alterar as forças catiônicas do meio, o que é feito, principalmente, a partir da adição de íons de cargas contrárias às das partículas, caracterizando o fenômeno conhecido por coagulação (ref. [12]).

A coagulação geralmente é realizada por sais de alumínio e de ferro e resulta de dois fenômenos: o

primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva; o segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato entre as impurezas, que se chocam e se aglomeram, formando partículas maiores, denominadas flocos, que podem ser removidas por sedimentação, flotação ou filtração rápida (ref. [12]). O valor de pH, da força iônica da água, a quantidade de matéria em suspensão, de matéria dissolvida e a presença de contaminantes específicos alteram o processo de coagulação química, tornando necessária a execução de ensaios dedicados. A floculação por sua vez, consiste em fenômeno puramente físico no qual a agregação e ruptura das partículas ocorre por meio da introdução de energia na massa líquida.

Assim, com base nos resultados apresentados nos estudos de Bastos [3] e May [8] e considerando-se Richter e Azevedo Netto [12], indagou-se se a adição de um coagulante antes do processo de filtração de águas pluviais poderia trazer melhoria de resultados ao processo de tratamento pelas autoras investigado. Todavia, o emprego de coagulantes comerciais, comumente empregados na indústria do tratamento de água, poderia dificultar a difusão da prática de tratamento em residências unifamiliares, requerendo cuidados e práticas criteriosas de controle e aplicação. A hipótese investigada foi que o amido natural de milho (vendido comercialmente para preparo de alimentos) poderia ser utilizado como coagulante primário no tratamento de água pluvial por meio da filtração direta em filtro rápido de pressão, proporcionando simplicidade e segurança no manuseio e estocagem e conferindo eficácia ao processo.

Di Bernardo [5] cita que tanto polímeros sintéticos quanto polímeros naturais têm sido usados como auxiliares no tratamento de água. Grossl *et al.* [7] descrevem que os polímeros naturais apresentam a vantagem de não representarem nenhum risco à saúde da população, ao contrário de alguns polímeros sintéticos, como os à base de acrilamidas, que podem eventualmente ser liberados na água tratada, em caso de ocorrência de falhas na operação da estação de tratamento.

Dentre os polímeros naturais, o amido de milho possui a vantagem de ser encontrado com facilidade no mercado, além de possuir uma

estrutura molecular adequada para a finalidade requerida por esse estudo.

Segundo Campos e Bernardo [4], as moléculas de amido encontram-se envoltas em uma membrana, tornando-se insolúveis em meio líquido com temperatura inferior a 50° C. A ruptura da estrutura do grão de amido, na presença de água quente, se desenvolve em três fases distintas. Durante a primeira fase, ocorre apenas um endurecimento limitado dos grãos e a viscosidade da suspensão aumenta de maneira sensível. O grão conserva sua aparência e, depois de seco, não é possível notar grande alteração. Quando se ultrapassa uma temperatura próxima a 65°C, inicia-se a segunda fase do intumescimento: o grão de amido aumenta seu volume em muitas vezes, a viscosidade da suspensão aumenta de forma significativa e o grão perde sua estrutura original (ref.[4]). Durante a terceira fase, que ocorre em temperaturas ainda mais elevadas, os fenômenos observados durante a segunda fase do intumescimento ocorrem de forma mais acentuada. Nesse momento, o amido granular é convertido de cristalino a disperso e amorfo, por meio de um processo denominado solvatação, no qual as partículas pequenas da água atuam como plastificantes, separando e abrindo as cadeias do amido. Na Figura 1 têm-se imagens da evolução dos grânulos de amido de milho durante o processo de aquecimento de uma solução a 5%.

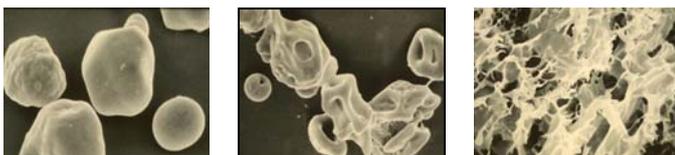


Figura 1: Evolução dos grânulos de amido de milho durante aquecimento de solução a 5% a, respectivamente, 30° C; 70° C e 90° C. Fotografias tiradas em microscópio ótico com aumento de 2000x.

Fonte: <http://www.public.istate.edu/~pkeeling/funcn1.htm>.

Assim, o presente estudo buscou investigar o emprego de solução de amido natural de milho como coagulante primário no tratamento simplificado de águas pluviais para fins de aproveitamento não potável.

Para tal, ensaios de coagulação/floculação e filtração rápida foram simulados em laboratório, em amostras de precipitações coletadas após passagem por telhado e piso em uma estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais construída em escala real.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados, no desenvolvimento do presente estudo, quinze ensaios de tratamento de águas pluviais em escala laboratorial. Para cada ensaio coletou-se uma precipitação distinta, totalizando quinze precipitações, coletadas entre novembro de 2009 e janeiro de 2010.

Para melhor descrição da metodologia de trabalho, as etapas de captação e tratamento empregadas serão descritas separadamente, a seguir.

ETAPA DE CAPTAÇÃO

A captação das precipitações estudadas ocorreu nas dependências do Centro de Estudos Ambiental (CEA) da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – UNESP – Campus de Rio Claro-SP, numa estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais após passagem por telhado e piso, construída em escala real.

Para montagem e instalação da estação experimental, utilizou-se uma área de aproximadamente 30 m², localizada ao lado do anfiteatro do CEA. O local em questão foi escolhido visando aproveitar o já existente sistema de coleta e direcionamento de águas pluviais instalado no prédio e, também, porque a área em questão encontrava-se em cota mais baixa, sendo assim necessária apenas força gravitacional para o encaminhamento das precipitações coletadas até a estação.

Na Figura 2 tem-se um esquema simplificado da estação experimental de captação de águas pluviais utilizada no estudo, com indicação de seus componentes, a saber: áreas de captação, calha coletora, condutores verticais e horizontais, caixas de passagem, caixa de desvio, reservatórios de acumulação e armazenamento, bombas, filtro de pressão e caixa de limpeza.

A captação das precipitações dava-se da seguinte forma: a água pluvial interceptada pelo telhado escoava até as calhas coletoras e era conduzida, por meio dos condutores horizontais e verticais, até as caixas de passagem instaladas sob o piso externo do prédio. Nessas caixas, ocorria a junção da água pluvial escoada pelo telhado e da água pluvial escoada sobre o piso externo (coletores de piso). Das caixas de passagem, a água pluvial seguia para a caixa de desvio. Nos casos em que se optava pelo não armazenamento

da água pluvial coletada, mantinha-se o desvio aberto. A água pluvial era direcionada para fora do sistema, até uma área gramada, onde ocorria sua infiltração. Nos casos em que se optava pelo armazenamento da água pluvial coletada, mantinha-se o desvio fechado, assim a água coletada seguia até a caixa de passagem gradeada e, dessa, até a estação de captação e tratamento de águas pluviais.

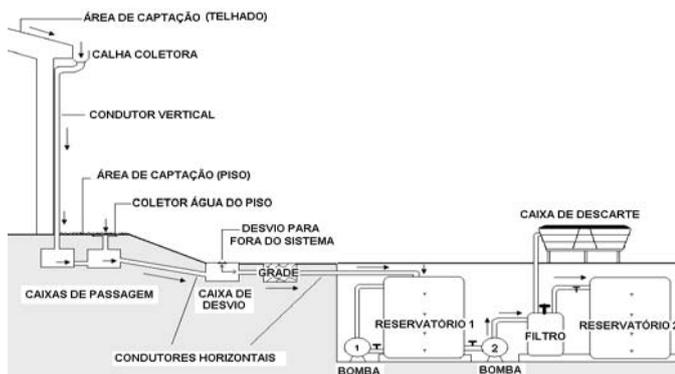


Figura 2: Esquema simplificado dos componentes da estação experimental de captação e armazenamento de águas pluviais utilizado no desenvolvimento do presente estudo. Sem escala.

ETAPA DE TRATAMENTO EM ESCALA LABORATORIAL

A etapa de tratamento em escala laboratorial deu-se nas dependências do CEA, em laboratório específico, sendo as simulações de coagulação/floculação realizadas em Jarteste e as simulações de filtração realizadas em papel filtro.

Para cada ensaio laboratorial, uma amostra de 30 litros da água pluvial captada na estação experimental era retirada do Reservatório 1, através de quatro torneiras plásticas instaladas ao longo do mesmo. Antes da amostragem, a água pluvial era homogeneizada dentro do reservatório, por cerca de dez minutos, através do bombeamento da água contida na parte inferior do reservatório até a parte superior do mesmo.

Para os ensaios de coagulação/floculação, amostras de 2 litros eram dispostas dentro de cada jarro do Jarteste (Figura 3). Em seguida, adicionava-se, a cada dosador do Jarteste, volume específico de solução de amido natural de milho (concentração de 2g/L), iniciando-se em 1 mL e incrementando-se de mL em mL, até 6 mL.



Figura 3: À esquerda, ilustração dos componentes do Jarteste. À direita, fotografia do equipamento.

Para preparação da solução de amido natural de milho, dissolvia-se, em um béquer de vidro de 250 mL, 0,2g de amido natural de milho comercial em 100 mL de água destilada. Aquecia-se, então, em uma chapa aquecedora elétrica, a mistura preparada, mantendo-a em leve agitação e em ponto de fervura por 10 minutos. Após esse processo, a solução era deixada em repouso, para esfriar, até a temperatura ambiente.

Quando todos os dosadores continham seu respectivo volume de solução de amido natural de milho, ligava-se o Jarteste, imprimindo às paletas uma rotação constante de 60s-1. Então, invertiam-se simultaneamente os dosadores sobre os jarros do Jarteste, mantendo as amostras de água pluvial acrescidas de solução de amido natural de milho em agitação constante por meia hora. Salienta-se que, tanto o valor do gradiente médio de velocidade (Gf) adotado quanto o tempo de floculação (Tf), deveu-se às estimativas realizadas na operação do sistema em escala real. O valor do Gf foi estimado a partir de valores médios da mistura ocorrida no tanque e na tubulação. O tempo (Tf) foi estimado a partir da média do ciclo de filtração necessário para finalização da carreira, cujo limitante foi o volume estocado. Findado o período de agitação, coletavam-se, simultaneamente, amostras de 100 mL de cada um dos jarros. Tais amostras eram submetidas, em seguida, a um processo de filtração laboratorial.

Para essa etapa, montava-se um sistema de filtração composto por béqueres, funis plásticos e papéis filtro (Figura 4). O papel filtro utilizado possuía porosidade média similar ao Whatman 40, amplamente utilizada em pesquisas com tratamento de água para verificação aproximada da qualidade da água filtrada em concentrações baixas de coagulantes. Ele era dobrado de forma a se encaixar no funil plástico. Cada amostra de água pluvial mais solução de amido natural de milho era filtrada em um respectivo conjunto “béquer-funil-papel filtro”.



Figura 4: À esquerda, conjunto béquer-funil-papel filtro. À direita, detalhe do papel filtro dobrado.

Após o processo de filtração, os parâmetros cor aparente e turbidez de cada uma das amostras eram medidos e comparados ao valor de cor aparente e turbidez encontrado na água pluvial bruta (não filtrada e sem adição de solução de amido natural de milho). Quando as amostras apresentavam resultados próximos e inconclusivos, realizava-se um segundo ensaio em Jarteste, adicionando-se volumes de solução de amido natural de milho entre 7 e 12 mL (dosagens equivalentes entre 7 e 12 mg/L). O processo de filtração, análise e comparação de resultados mantinha-se o mesmo.

As amostras de água pluvial bruta (não filtrada e sem adição de solução de amido natural de milho) tinham seu pH medido antes dos ensaios em Jarteste. Independente do resultado encontrado, em nenhum caso houve alteração do pH por meio de adição de produtos condicionantes, pois como comentado anteriormente, buscou-se um procedimento simples o bastante para ser empregado em residências unifamiliares, sem a complexidade dos processos e operações presentes em sistemas de tratamento de água para abastecimento público.

Evidentemente, a prática de construção do diagrama de coagulação, comumente empregada em estudos de tratamento de água, foi limitada nesse estudo. Tal fato deveu-se à indisponibilidade de volume de água pluvial estocado suficiente, lembrando que cada evento apresenta uma lâmina diferente e sua regularização modifica as características da precipitação. Ademais, a própria natureza da proposta, a qual não pressupõe a introdução de práticas e manejo de soluções perigosas, tais como ácidos ou alcalinizantes, não justifica a importação de procedimentos comumente empregados na indústria do tratamento de água potável para as práticas domésticas aqui apresentadas, cuja simplicidade é um dos principais objetivos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

ETAPA DE CAPTAÇÃO

Foram coletadas, na estação experimental, quinze precipitações distintas, ocorridas entre novembro de 2009 e janeiro de 2010.

O período de estiagem entre uma coleta e outra foi curto, variando entre zero e três dias (período chuvoso), com moda igual a zero, ou seja, dias com chuva consecutiva. A altura média de precipitação registrada foi 32,5 mm (desvio padrão igual a 26,6), sendo a menor altura de precipitação 10,3 mm (em 16/11/2009) e, a maior, 119,7 mm (ocorrida em 29/12/2009). As intensidades máximas de precipitação variaram entre 0,8 mm/10 min (em 29/11/2009) e 18,8 mm/10min (em 07/01/2010), apresentando uma média de 7,3 mm em dez minutos de precipitação, com desvio padrão igual a 5,5. O volume precipitado variou entre 13,0 m³ (em 29/11/2009) e 119,7 m³ (em 29/12/2009), com média igual a 32,5 m³ e desvio padrão de 26,6. O volume máximo de armazenamento do sistema era de 3 m³, sendo o excedente descartado pelo extravasor. Antes de cada ensaio o volume coletado para tratamento foi caracterizado.

Na Tabela 3 encontram-se os valores mínimos e máximos de condutividade elétrica, alcalinidade, dureza total, sulfato, sólidos totais dissolvidos, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e pH encontrados nas amostras de água pluvial bruta durante o período de ensaios, com indicação da média e do desvio padrão.

Tabela 3: Parâmetros das precipitações estudadas.

Parâmetro	Valor mínimo	Valor Máximo	Valor médio	Desvio padrão
Condutividade elétrica (µS/cm)	9	27	13,7	0,7
Alcalinidade (mg/L)	7,9	19,8	10,9	3,1
Dureza total (mg/L)	2,9	7,7	4,7	1,4
Sulfato (mg/L)	2	7	4	2
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	0,006	0,018	0,009	0,003
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,03	0,38	0,17	0,09
Nitrito (mg/L)	0,006	0,28	0,03	0,07
Nitrato (mg/L)	0,0	0,8	0,3	0,3
pH	4,7	7,2	5,9	0,7

A condutividade elétrica das amostras coletadas apresentou média de 13,7 µS/cm (desvio padrão

0,7), variando entre 9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (em 3/12/2009 e 30/12/2009) e 27 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (em 16/11/2009). A alcalinidade apresentou média de 10,9 mg/L (desvio padrão 3,1), variando entre 7,9 mg/L (em 8/11/2009, 03/12/2009 e 22/01/2010) e 19,8 mg/L (em 29/12/2009). A dureza total apresentou média de 4,7 mg/L (desvio padrão 1,4), variando entre 2,9 mg/L (em 29/12/2009) e 7,7 mg/L (em 12/12/2009). A concentração de sulfato apresentou média de 4 mg/L (desvio padrão 2), variando entre 2 mg/L (em 8/11/2009, 24/11/2009, 27/11/2009, 08/12/2009 e 18/12/2009) e 7 mg/L (em 16/11/2009, 29/11/2009, 12/12/2009 e 22/01/2010). A concentração de sólidos totais dissolvidos apresentou média de 0,009 mg/L (desvio padrão 0,003), variando entre 0,006 mg/L (em 03/12/2009, 18/12/2009 e 30/12/2009) e 0,018 mg/L (em 16/11/2009). A concentração de nitrogênio amoniacal apresentou média de 0,17 mg/L (desvio padrão 0,09), variando entre 0,03 mg/L (em 30/12/2009) e 0,38 mg/L (em 16/11/2009). A concentração de nitrito apresentou média de 0,03 mg/L (desvio padrão 0,07), variando entre 0,006 mg/L (em 07/01/2010) e 0,28 mg/L (em 16/11/2009). A concentração de nitrato apresentou média de 0,3 mg/L (desvio padrão 0,3), variando entre 0,0 mg/L (em 18/12/2009) e 0,8 mg/L (em 16/11/2009). O pH das amostras coletadas apresentou valor médio de 5,9 (desvio padrão 0,7), variando entre 4,7 (em 08/11/2009) e 7,2 (em 24/11/2009).

Em termos de cor aparente, observou-se uma variação entre 21 uH (em 24/11/2009) e 142 uH (em 16/11/2009), com média de 74,9 uH e desvio padrão igual a 37,6. Acredita-se que os elevados valores apresentados ocorreram devido às intensidades das precipitações e pelo fato de parte da coleta ser realizada em piso externo.

Em termos de turbidez, observou-se valores que variaram entre 5 uT (em 24/11/2009) e 38,5 uT (em 27/11/2009), com média de 15,9 uT e desvio padrão igual a 11,5. Mais uma vez relacionou-se essa característica às intensidades das precipitações e ao local de coleta.

As características acima descritas podem ser observadas na Tabela 4. Na Figura 5 são apresentadas as distribuições dos quartis para os parâmetros cor aparente e turbidez, relacionando todos os ensaios realizados.

Observando-se a Figura 5, pode-se notar que houve maior amplitude nos dados de cor aparente, cujo desvio quartílico foi de 31,3 uH, contra os 5,3

uT da turbidez. Os resultados de distribuição quartílica apresentados exprimem a grande variabilidade da qualidade das amostras de água pluvial estudadas, apesar de o período de estiagem entre as chuvas ter sido curto (menor que 3 dias). Ou seja, embora a maioria das amostras tenha sido coletada em dias de chuva consecutiva, as características iniciais averiguadas foram bem diferentes, demonstrando que alguns parâmetros, como cor aparente e turbidez, são influenciados por outros fatores além do tempo de estiagem.

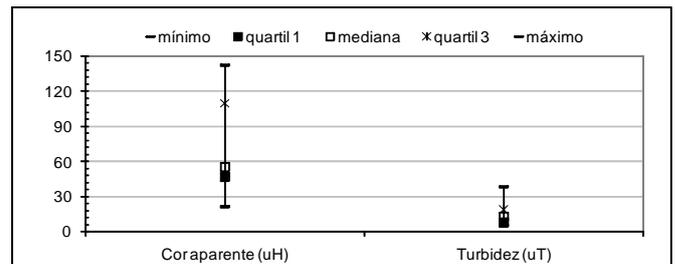


Figura 5: Distribuição dos quartis para cor aparente e turbidez das precipitações estudadas.

ETAPA DE TRATAMENTO EM ESCALA LABORATORIAL

Em relação ao parâmetro cor aparente, a Tabela 5 traz os residuais obtidos em cada ensaio, nas diferentes dosagens de solução de amido natural de milho, com indicação do pH de coagulação e valor residual médio. Visando-se destacar quais dosagens aplicadas correspondem aos melhores resultados, foram destacados na tabela, em tons de cinza, os menores residuais obtidos em cada ensaio, considerando-se o intervalo de confiança dos dados.

Observando-se a Tabela 5, pode-se notar que a aplicação de solução de amido natural de milho ocasionou residuais de cor aparente em valores entre 4 uH (ensaio 10; dosagem 12 mg/L) e 67 uH (ensaio 2; dosagem 8 mg/L). Os menores residuais de cada ensaio foram obtidos com dosagens diferentes de solução de amido natural de milho, sendo a maioria dos resultados observados para dosagens maiores que 6mg/L.

Em termos de redução de valores, tem-se que o melhor resultado ocorreu no ensaio número 10, dosagem 12 mg/L, quando a cor aparente passou de 55 uH para 4 uH (redução de 51 uH ou 74%). A menor redução foi observada no ensaio número 1, dosagem 8 mg/L, quando a cor aparente passou de 41 uH para 33 uH (redução de 8 uH ou 20%).

No ensaio número 3, apesar da aplicação de 12 mg/L de solução de amido natural de milho, a cor aparente residual passou de 21 para 22 uH. Tal resultado demonstra que nem sempre uma maior dosagem de solução de amido natural de milho ocasiona melhores resultados. No caso do ensaio número 3, por exemplo, a maior redução de cor aparente foi obtida com a dosagem de 3 mg/L de solução de amido natural de milho. Na Figura 6 tem-se a distribuição dos quartis para os ensaios realizados.

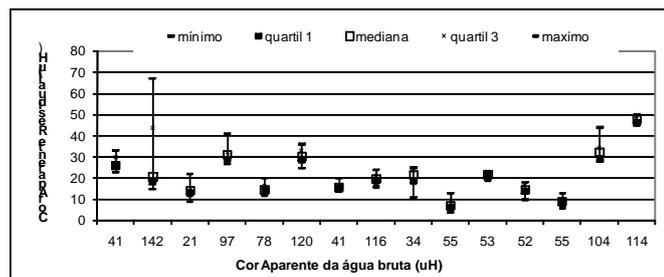


Figura 6: Distribuição dos quartis de cor aparente para dosagens de solução de amido natural de milho variando entre 1 e 12 mg/L, em valores de pH de 4,7 a 7,2.

Observando-se a Figura 6, pode-se notar que a maioria dos ensaios apresentou baixo desvio quartílico (em média 2,18 uH), com exceção do segundo ensaio, ocorrido em 16/11/2009 (desvio quartílico = 12,6 uH). Nesse ensaio, pode-se notar que o valor de máximo encontra-se mais distante da mediana que nos demais ensaios, o que ocorreu devido a um valor de residual acima da média das demais dosagens (dosagem de 8mg/L, cor aparente residual 76 uH).

Em termos percentuais, tem-se, na Figura 7, o gráfico de distribuição dos quartis correspondentes aos residuais obtidos para cada dosagem.

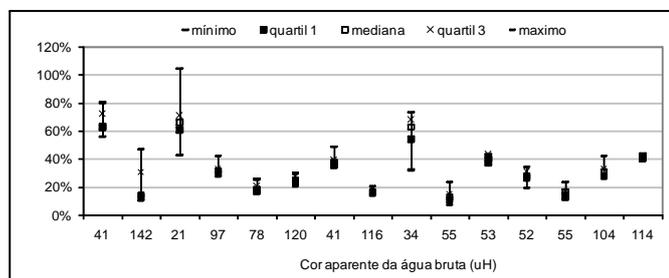


Figura 7: Distribuição em porcentagem dos quartis de cor aparente para dosagens de solução de amido natural de milho variando entre 1 e 12 mg/L, em valores de pH de 4,7 a 7,2.

Nota-se, na Figura 7, que no ensaio 2 o valor máximo apresentado foi superior a 100% (104,8%), indicando que houve aumento de cor aparente com a adição de solução de amido natural

de milho. Em termos gerais, o menor residual percentual observado foi de 7,3%, sendo a média de residual mínimo 26,2%, a mediana média, 45,6% e a média de residual máximo obtido, 33,9%.

A Figura 8 apresenta um gráfico com a cor aparente da água bruta e o menor residual de cor aparente obtido em cada ensaio.

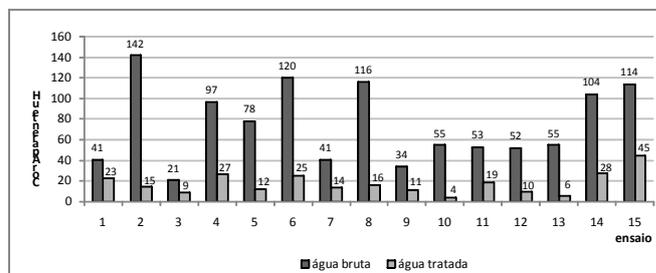


Figura 8: Valores de cor aparente (uH) encontrados nas amostras estudadas antes e após o processo de tratamento. Gráfico para os melhores resultados obtidos.

Conforme pode ser observado na Figura 8, sete ensaios apresentaram, em determinadas dosagens, residuais de cor aparente em valores conforme preconizado pela NBR 15527/07 (abaixo de 15 uH). Nesses ensaios, as dosagens de solução de amido natural de milho variaram entre 3 e 12 mg/L, sendo a dosagem de 11 mg/L responsável pelo melhor resultado em três dos sete resultados. O pH de coagulação manteve-se em torno de 6,0, variando entre 4,8 e 7,2.

Em relação ao parâmetro turbidez, a Tabela 6 apresenta os residuais obtidos em cada ensaio, nas diferentes dosagens de solução de amido natural de milho, com indicação do valor residual médio e pH de coagulação. O menor residual obtido em cada ensaio foi realçado na tabela, em tom cinza, visando-se destacar quais dosagens aplicadas corresponderam aos melhores resultados.

Observando-se a Tabela 6, pode-se notar que a aplicação de solução de amido natural de milho ocasionou residuais de turbidez em valores entre 1,2 uT (ensaio 3; dosagem 6 mg/L e ensaio 13; dosagens 6, 7 e 11 mg/L) e 7,5 uT (ensaio 15; dosagem 1 mg/L). Os menores residuais de cada ensaio foram obtidos com dosagens diferentes de solução de amido natural de milho, sendo a maioria dos resultados observados para dosagens maiores que 6mg/L.

Em termos de redução de valores, tem-se que o melhor resultado ocorreu no ensaio número 4, dosagem 6 mg/L, quando a turbidez passou de 38,5 uT para 3,3 uT (redução de 35,2 uT ou 91%).

Na Figura 9 tem-se a distribuição dos quartis para os ensaios realizados.

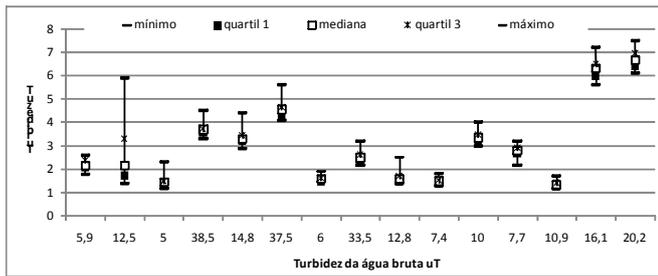


Figura 9: Distribuição dos quartis de residuais de turbidez para dosagens de solução de amido natural de milho variando entre 1 e 12 mg/L, em valores de pH de 4,7 a 7,2.

Observando-se a Figura 9, pode-se notar que a maioria dos ensaios apresentou baixo desvio quartílico (em média 0,18 uT), com exceção do segundo ensaio, ocorrido em 16/11/2009 (desvio quartílico = 0,78 uT). Nesse ensaio, pode-se notar que o valor de máximo encontra-se mais distante da mediana que nos demais ensaios, o que ocorreu devido a um valor de residual (dosagem de 8mg/L, turbidez residual 5,9 uT) acima da média das demais dosagens.

Em termos percentuais, tem-se, na Figura 10, o gráfico de distribuição dos quartis correspondentes aos residuais obtidos para cada dosagem.

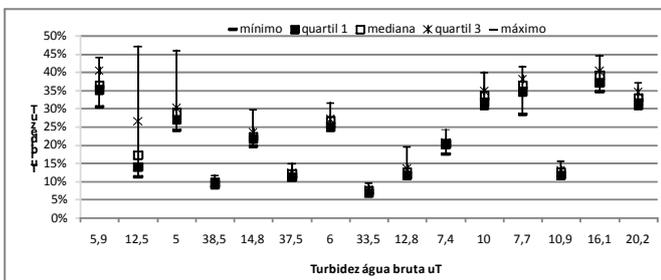


Figura 10: Distribuição em porcentagem dos quartis de turbidez para dosagens de solução de amido natural de milho variando entre 1 e 12 mg/L, em valores de pH de 4,7 a 7,2.

Nota-se, na Figura 10, que em todos os ensaios o valor residual máximo esteve abaixo de 50%, sendo o maior valor máximo apresentado 47,2% (ensaio 2).

Em termos gerais, o menor residual percentual observado foi de 6,6% (ensaio 8), sendo a média de residual mínimo 20% e a média de residual máximo obtido, 30,5%. O desvio quartílico foi baixo na maioria dos ensaios (em média 1,4%), com exceção do segundo ensaio, ocorrido em 16/11/2009 (desvio quartílico = 6,2%).

A Figura 11 apresenta um gráfico com a turbidez da água bruta e o menor residual obtido em cada ensaio.

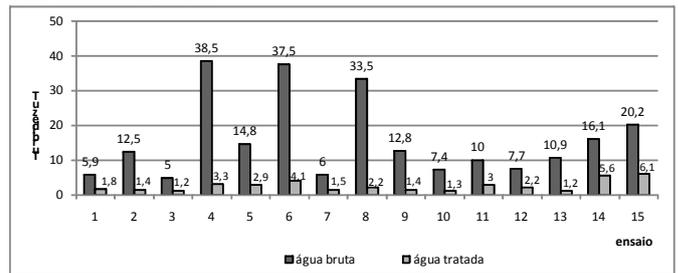


Figura 11: Valores de turbidez (uT) encontrados nas amostras estudadas antes e após o processo de tratamento. Gráfico para os melhores resultados obtidos.

Conforme pode ser observado na Figura 11, com exceção do último, todos os ensaios apresentaram, em determinadas dosagens, residuais de turbidez em valores conforme preconizado pela NBR 15527/07 (abaixo de 5 uT), estando sete destes abaixo de 2,0 uT, valor recomendado para usos mais restritivos. Nesses ensaios, as dosagens de solução de amido natural de milho variaram entre 2 e 11 mg/L, sendo a dosagem de 6 mg/L responsável pelo melhor resultado em quatro dos catorze resultados. O pH de coagulação manteve-se em torno de 6,0, variando entre 4,8 e 7,2.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou avaliar um procedimento simples o bastante para ser empregado em residências unifamiliares, sem a complexidade dos processos e operações presentes em sistemas de tratamento de água para abastecimento público.

Com base nos resultados obtidos, observou-se que a utilização de solução de amido natural de milho como coagulante primário no processo de tratamento empregado no presente estudo ocasionou reduções dos valores iniciais de cor aparente e turbidez, em cerca de 70 e 80%, respectivamente. Enquanto os residuais médios de cor aparente passaram de 75 uH (água bruta) para 22 uH (água tratada), os residuais médios de turbidez foram de 15,9 uT (água bruta) a 3,1 uT (água tratada).

As dosagens de solução de amido natural de milho empregadas que obtiveram os melhores resultados variam de acordo com o ensaio e parâmetro analisado. Porém, pode-se notar que de modo geral as maiores reduções tanto de cor aparente quanto de turbidez ocorreram em

dosagens acima de 6 mg/L, com pH de coagulação em torno de 6,0.

Embora os resultados tenham apontado para a possibilidade de aplicação do amido natural como coagulante primário, recomenda-se a investigação de outros coagulantes com vistas a manutenção da estratégia simplificada objeto dessa proposta.

REFERÊNCIAS

1. American Water and Wastewater Association. *Water Quality and Treatment: a handbook of community water supplies* 4th. 1194 p. McGraw-Hill, 1990.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*. 2007.
3. Bastos, F. P. B. *Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV*. Vitória: CT/UFES, 2007. 134p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.
4. Campos, J. R.; Di Bernardo, L. *Uso de polímeros naturales en el tratamiento de aguas para abastecimento*. Colômbia: Universidad Del Valle. Ministerio de La Salude de Colombia - OMS, USP, 1988. 62 p.
5. Di Bernardo, L; Dantas, A. B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. São Carlos. Rima, 2005.
6. Gonçalves, R. F. (coordenador). *Uso racional de água em edificações*. Rio de Janeiro. ABES, 2006.
7. Grossl, K.; Tomazzoni, G.; Santos, H. R. *Amido de batata como auxiliar de floculação no tratamento de águas para abastecimento*. In: VII Semana de Engenharia Ambiental. Unicentro. Irati, 2009.
8. May, S. *Caracterização, tratamento e reuso de águas cinza e aproveitamento de águas pluviais em edificações*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009. 223p. Tese de Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária.
9. Murakami, M.F.; Moruzzi, R.B. *Variação temporal da qualidade de água armazenada para fins de aproveitamento*. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 243-254, set /dez 2009.
10. Nakada, L.Y.K.; Moruzzi, R.B. *Estudo estatístico sobre parâmetros qualitativos de águas pluviais*. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. 2011.
11. Nakada, L.Y.K.; Moruzzi, R.B. *Coleta e tratamento de água pluvial para fins não potáveis com emprego de amido como coagulante primário em filtração cíclica em laboratório*. REA – Revista de estudos ambientais, v.11, n. 1, p. 51-60, jan./jun. 2009
12. Richter, C. A; Azevedo Netto, J. M. *Tratamento de água: tecnologia atualizada*. São Paulo. Edgard Blucher. 332p. 1991.

Tabela 2: Parâmetros de qualidade da água pluvial captada em 03 de abril de 2008, com diferentes volumes de descarte (1,5mm; 1,0mm e 0,5mm), e sem descarte, e valores recomendados pela NBR 15527(ABNT, 2007). Extraído de Moruzzi e Nakada (2009)

	Volumes de Descarte				NBR 15527/2007
	1,5mm (600L)	1,0mm (400L)	0,5mm (200L)	Sem descarte	
pH	5,47	5,83	5,22	5,50	6,0 – 8,0
Cloreto (mg/L)	1,60	1,70	1,30	2,00	**
Coliformes Totais (em 100mL)	Presença	Presença	Presença	Presença	Ausência
Coliformes Termotolerantes (em 100mL)	Presença	Presença	Presença	Presença	Ausência
Condutividade (mS/cm ³)	34,00	39,00	37,00	39,00	**
Cor Aparente (uH)	178,00	109,00	101,00	225,00	Inferior a 15
DBO (mg/L)	9,40	3,80	3,40	4,10	**
Dureza (mg/L)	10,00	9,90	9,60	10,00	**
Nitrato – NO ⁻³ (mg/L)	0,10	0,10	0,10	0,10	**
Nitrito – NO ⁻² (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	**
OD (mg/L)	7,33	6,28	6,56	7,11	**
Sulfato(mg/L)	1,00	2,00	1,00	1,00	**
SST (mg/L)	32,00	29,30	33,30	86,00	**
SSV (mg/L)	18,000	12,633	13,697	26,67	**
STD (mg/L)	23,00	24,00	24,00	25,00	**
SSF (mg/L)	14,00	16,67	19,33	59,33	**
Turbidez (uT)	28,10	23,20	26,50	64,40	⁺ Inferior a 2 ⁻ Inferior a 5
Ferro (mg/L)	0,0080	0,0100	0,0150	0,0140	**
Cálcio – Ca ²⁺ (mg/L)	3,5070	3,3280	3,2560	3,4000	**
Magnésio – Mg ²⁺ (mg/L)	0,4240	0,4170	0,4150	0,4490	**
Salinidade (per mil)	0,02	0,02	0,02	0,02	**

** Valor não especificado pela NBR 15527/07

+ Para usos mais restritivos

- Para usos menos restritivos

Tabela 4: Principais características das precipitações estudadas.

Ensaio	Data da precipitação	Estiagem (dias)*	Altura da chuva (mm)*	Precipitação máxima (mm/10min)*	pH	Cor aparente (uH)	Turbidez (UT)
1	08/11/2009	0	29,6	9,4	4,7	41	5,9
2	16/11/2009	3	10,3	2,4	6,0	142	12,5
3	24/11/2009	1	20,4	5,6	7,2	21	5,0
4	27/11/2009	1	41,3	9,3	5,1	97	38,5
5	29/11/2009	0	13,0	0,8	4,8	78	14,8
6	03/12/2009	3	33,0	9,2	5,2	120	37,5
7	08/12/2009	0	15,6	0,9	6,1	41	6,0
8	12/12/2009	0	13,7	3,6	6,6	116	33,5
9	18/12/2009	2	24,4	3,7	6,5	34	12,8
10	29/12/2009	0	119,7	7,0	6,1	55	7,4
11	30/12/2009	0	33,7	4,9	5,7	53	10,0
12	07/01/2010	0	19,2	18,8	5,8	52	7,7
13	15/01/2010	2	38,0	18,7	5,9	55	10,9
14	19/01/2010	0	48,5	9,4	6,8	104	16,1
15	22/01/2010	0	27,8	6,5	6,0	114	20,2
	Média		32,5	7,3	5,9	74,9	15,9
	Desvio Padrão		26,6	5,5	0,7	37,6	11,5

Tabela 5: Residuais de cor aparente obtidos após o tratamento em escala laboratorial.

Ensaio	pH	Chuva bruta	Cor Aparente (uH)												M.	D.P.	I.C.
			Dosagem (mg/L)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	4,7	41	25	26	26	32	26	26	29	33	27	23	33	23	27	3,6	2
2	6,0	142	43	15	50	19	19	20	38	67	45	15	21	16	31	17,3	10
3	7,2	21	17	14	9	14	12	12	15	14	13	13	15	22	14	3,2	2
4	5,1	97	29	28	28	32	30	27	41	33	32	31	31	32	31	3,6	2
5	4,8	78	18	16	14	14	14	14	16	15	17	20	12	14	15	2,2	1
6	5,2	120	35	30	36	29	33	29	33	27	30	25	30	25	30	3,6	2
7	6,1	41	20	17	16	18	16	15	14	15	14	16	15	15	16	1,7	1
8	6,6	116	19	19	17	19	18	16	20	21	24	23	22	21	20	2,4	1
9	6,5	34	22	21	23	24	22	21	24	19	17	25	11	14	20	4,3	2
10	6,1	55	13	8	9	6	8	6	8	6	6	8	6	4	7	2,3	1
11	5,7	53	23	22	20	19	22	21	23	20	21	23	23	21	22	1,4	1
12	5,8	52	18	17	16	15	17	16	10	14	14	13	12	14	15	2,3	1
13	5,9	55	10	9	9	11	8	7	9	9	13	6	6	9	9	2,0	1
14	6,8	104	28	32	35	29	34	33	29	29	32	28	36	44	32	4,6	3
15	6,0	114	50	49	46	45	48	47	45	48	46	48	46	48	47	1,6	1
Média		75	25	22	24	22	22	21	24	25	23	21	21	21	22	-	-

Nota 1: M. = média; D.P. = desvio padrão; I.C. = intervalo de confiança, com $\alpha = 0,05$.

Nota 2: ■ menor residual; □ menor residual considerando o intervalo de confiança.

Tabela 6: Residuais de turbidez obtidos durante o tratamento em escala laboratorial.

Ensaio	pH	Chuva bruta	Turbidez (uT)												M.	D.P.	I.C.
			Dosagem (mg/L)														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	4,7	5,9	2,1	2,0	2,1	2,6	2,1	1,8	2,3	2,6	2,0	2,2	2,6	2,2	2,2	0,26	0,1
2	6,0	12,5	2,8	1,4	5,3	1,5	2,0	1,8	2,6	5,9	4,8	1,6	2,3	1,8	2,8	1,59	0,9
3	7,2	5,0	1,5	1,2	1,2	1,5	1,7	1,2	1,4	1,5	1,4	1,5	1,4	2,3	1,5	0,30	0,2
4	5,1	38,5	3,7	3,6	3,7	3,7	3,8	3,3	4,5	3,9	3,7	3,7	3,4	3,5	3,7	0,30	0,2
5	4,8	14,8	3,6	3,4	3,3	3,0	2,9	3,2	3,3	3,6	3,3	4,4	3,2	3,3	3,4	0,38	0,2
6	5,2	37,5	4,8	4,6	5,1	4,4	4,6	4,5	5,6	4,6	4,2	4,2	4,2	4,1	4,6	0,43	0,2
7	6,1	6,0	1,9	1,6	1,6	1,7	1,5	1,6	1,5	1,7	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	0,12	0,1
8	6,6	33,5	2,5	2,5	3,2	2,7	2,5	2,3	2,2	2,3	2,8	2,6	2,5	2,3	2,5	0,27	0,2
9	6,5	12,8	1,6	1,5	1,7	1,8	1,6	1,5	2,1	1,6	1,4	2,5	1,5	1,6	1,7	0,31	0,2
10	6,1	7,4	1,8	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5	0,11	0,1
11	5,7	10,0	3,4	3,3	3,0	3,0	3,4	3,3	3,7	3,2	3,4	4,0	3,7	3,1	3,4	0,30	0,2
12	5,8	7,7	3,2	3,0	2,9	2,7	3,0	2,9	2,2	2,8	2,8	2,6	2,3	2,7	2,8	0,29	0,2
13	5,9	10,9	1,4	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4	1,7	1,3	1,2	1,5	1,4	0,15	0,1
14	6,8	16,1	5,8	6,3	6,4	6,0	6,7	5,6	6,1	5,9	6,3	6,4	7,2	6,7	6,3	0,44	0,3
15	6,0	20,2	7,5	7,1	6,8	6,5	7,2	6,9	6,1	6,4	6,2	6,7	6,6	6,3	6,7	0,43	0,2
MÉDIA	5,9	15,9	3,2	3,0	3,3	2,9	3,1	2,8	3,1	3,3	3,1	3,1	3,0	3,0	3,1	-	-

Nota 1: M. = média; D.P. = desvio padrão; I.C. = intervalo de confiança, com $\alpha = 0,05$.

Nota 2: menor residual; menor residual considerando o intervalo de confiança.