



IV-048 - RACIONALIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA NO BARBUR PLAZA HOTEL, PONTA GROSSA/PR, POR MEIO DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA E DO REUSO DA ÁGUA DA LAVANDERIA

Marcelo De Julio⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Especialista em Gestão da Produção pela UFSCar. Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e Professor Colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Diego Fiuza Ferreira

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Luiz Gustavo Barbur

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Ramon Pires

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Endereço⁽¹⁾: Av. General Carlos Cavalcanti, 4748, Campus Uvaranas, Bloco E, Ponta Grossa/PR. CEP 84030-900. Fone: (42) 3220-3251, Fax: (42) 3220-3074, e-mail: dejulio@uepg.br.

RESUMO

Por meio de um estudo de caso, foi pesquisada a implantação de um sistema de coleta, armazenamento, tratamento e aproveitamento da água de chuva, bem como de um sistema de armazenamento, tratamento e reaproveitamento da água de lavanderia, no Barbur Plaza Hotel, Ponta Grossa/PR. Com as plantas do hotel, foi possível retirar todos os dados pertinentes às instalações do mesmo como a área de coleta de água de chuva e sua população, podendo assim ser feito o cálculo da demanda de água utilizada em vasos sanitários bem como a oferta de água de chuva. Como a intenção é utilizar não somente a água de chuva, mas também a água de lavanderia, que apresenta um volume significativo, foram efetuados cálculos para estimativa da oferta de água proveniente do efluente da lavagem de roupas, utilizando série histórica fornecida pelo próprio hotel (4,7 m³/dia). Uma amostra composta do efluente da lavanderia foi analisada em relação os seguintes parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Suspensos Totais, Óleos e Graxas, pH, Cor e Turbidez. Com o resultado da análise, pôde-se decidir a respeito do tratamento mais apropriado para o reuso do efluente da lavanderia, neste caso físico-químico em função da baixa relação DBO/DQO (igual a 0,25). Foi então elaborado um esquema de automação através de chave-bóia e sensores de fluxo para que seja priorizado o tratamento de água de chuva, que é menos oneroso. Os reservatórios foram dimensionados de tal maneira que aproveitassem ao máximo a água de chuva (sem a ocorrência de *overflow* em muitos meses) e que suprisse toda a demanda dos vasos sanitários (cerca de 6 m³/dia) sem a utilização de água potável, somente de chuva e de lavanderia se fosse o caso.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento, Água de chuva, Reuso, Efluente de lavanderia, Tratamento.

INTRODUÇÃO

Cada vez mais se ouve falar sobre o risco de escassez de água. A cultura de desperdício implantada em nossa sociedade, provavelmente levará o ser humano a experimentar, dentro em breve, um dos maiores problemas desse século: o fim da água em condições próprias para consumo humano. A organização das Nações Unidas (ONU), por exemplo, admite que dentro de vinte anos metade da população mundial, não terá acesso à água potável de qualidade satisfatória.

De maneira irônica e dramática, grandes centros urbanos sofrem ao mesmo tempo com a escassez de água potável e com as enchentes, ocasionadas por fortes chuvas de pouca duração que causam transtornos imensuráveis ao quadro urbano. Tais questões confirmam a necessidade da criação de políticas do bom uso da água. Tomando-se como exemplo a cidade de São Paulo, a mesma água que enche as suas ruas poderia ser armazenada e utilizada em centenas de edificações evitando assim dois problemas: o desperdício de água



potável para fins não nobres e a retenção de um volume considerado de água, aliviando o sistema de coleta de água de chuva da rede pública.

Neste sentido, começa a se tornar cada vez mais popular o uso da água de chuva e reuso de águas cinzas para fins menos nobres, que não necessitem de padrões de potabilidade como em vasos sanitários, irrigação de jardins, lavagens de pisos, dentre outros.

Com a utilização da água de fontes alternativas, diminuiria de maneira significativa o consumo de água da rede pública o que levaria, a uma redução, ou pelo menos a uma estagnação do custo de fornecimento, pois não haveria assim a necessidade de aumento das estações de tratamento e captação, pois o aumento da demanda seria suprido pela “nova” fornecedora de água.

Segundo May (2004), o aumento da eficiência do uso da água irá liberar suprimentos de água para outros usos, tais como: estabelecimento de novas indústrias, aumento na produtividade agrícola e a melhoria do meio ambiente.

Conforme relatado no manual da SindusCon-SP (2005) e em consonância com os princípios e diretrizes globais do desenvolvimento sustentável, com o objetivo de se atingir as Metas do Desenvolvimento do Milênio, torna-se necessário uma mudança substancial nos padrões de produção e consumo da sociedade.

O crescimento das atividades econômicas e a manutenção das condições de qualidade de vida da população, dependem da conscientização da importância desse insumo estratégico e, respectivamente, da conservação e de seu uso de forma racional por todos.

Para tanto, são necessários investimentos tecnológicos na busca pela ampliação de soluções alternativas para a oferta de água, bem como são necessárias ações para eficiente gestão da demanda, reduzindo os índices de desperdício.

Em contrapartida, a utilização de água não oriunda das concessionárias, traz o ônus de o usuário se tornar um “produtor” de água e, portanto, responsável pela gestão de tal insumo.

Quando os diferentes setores usuários de recursos hídricos realmente notarem a importância e necessidade permanente de ações de práticas de reuso, é de fundamental relevância que tais práticas sejam criteriosamente adotadas, resguardando-se a saúde pública e observando-se os cuidados necessários para a preservação do patrimônio, equipamentos e segurança dos produtos e serviços oferecidos aos usuários.

OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo principal pesquisar, por meio de um estudo de caso, a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva e reuso de águas cinzas, no Barbur *Plaza* Hotel, localizado no município de Ponta Grossa/PR, apresentando soluções alternativas de utilização de água não potável, visando o desenvolvimento sustentável, observando as normas para aproveitamento da água de chuva e reaproveitamento de águas cinzas.

Para a consecução do objetivo principal, foi necessário o desenvolvimento de diversas etapas de trabalho, configurando os seguintes objetivos específicos:

- Otimizar o uso de água potável na edificação, empregando-se a água de chuva e reuso do efluente da lavanderia nos vasos sanitários;
- Analisar, por meio do método da simulação e utilizando os dados pluviométricos da cidade de Ponta Grossa/PR, os meses em que a demanda será suprida apenas pela água de chuva, bem como os meses em que será necessária a utilização de águas cinzas;
- Realizar estudos de tratabilidade com a água proveniente da lavanderia, analisando as características da água tratada e avaliando a possibilidade de utilização somente da água tratada da lavanderia ou qual a proporção de sua diluição na água de chuva para que atenda aos parâmetros característicos para a água de reuso classe 1, constante em SindusCon-SP (2005).

MATERIAL E MÉTODOS

De posse das plantas, projetos e informações obtidas junto à gerência do hotel, puderam-se retirar todos os dados pertinentes às instalações, como a área de coleta de água de chuva, número de hóspedes e funcionários,



podendo assim ser feito o cálculo da demanda de água utilizada em vasos sanitários, bem como a oferta de água de chuva.

O Quadro 1, obtido por meio do método da simulação (previsto na NBR 15527/2007), apresenta os meses nos quais será necessário o suprimento externo de água, o qual no presente trabalho será proveniente do reuso da água da lavanderia. Foi empregado o valor de 0,8 para o coeficiente de escoamento superficial (C), sendo este valor recomendado para o Brasil, de acordo com May (2004).

Como a intenção é utilizar não somente a água de chuva, mas também a água da lavanderia, que apresenta um volume significativo, foram efetuados cálculos para se ter uma estimativa da oferta de água proveniente da lavagem de roupas. Para o cálculo da oferta de água de lavanderia, foi utilizada uma série histórica fornecida pelo próprio hotel.

Uma amostra da água da lavanderia foi analisada no Laboratório do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (CEPPA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e pelo Laboratório da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Devido ao processo de lavagem se utilizar de vários estágios onde, em cada um, são colocados produtos distintos em quantidades diferentes de água, viu-se a necessidade de se ter para análise, uma amostra composta, que seria mais representativa. Foram analisados os seguintes parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Suspensos Totais (SST), Óleos e Graxas, pH, Cor Aparente, Turbidez e Cloro residual. Estas análises estão de acordo com o previsto na Tabela 5.1 de SindusCon-SP (2005).

Por meio da relação DBO/DQO pode-se avaliar o método mais apropriado de tratamento, ou seja, biológico, físico-químico ou uma combinação entre eles. Como será visto posteriormente, o método considerado mais apropriado foi o físico-químico.

Apenas com a água da lavanderia foram realizados ensaios no equipamento Jarrest (Nova Ética), que consiste em uma unidade em escala de laboratório que trabalha em batelada, no qual são realizados os processos e operações de mistura rápida, floculação, decantação e filtração, sendo a metodologia para a execução dos ensaios descrita em Di Bernardo et al. (2002). A água da lavanderia foi coletada em outubro de 2008 e armazenada no Laboratório de Saneamento da UEPG em uma caixa de água com tampa em uma dependência fechada e ventilada, não sendo exposta ao sol e em temperatura ambiente. Os ensaios de tratabilidade foram realizados no menor tempo possível (4 dias) e a temperatura da água fixada em 20°C.

Para simulação da coagulação, floculação e decantação, foram adotados os parâmetros da Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros físicos adotados para os ensaios de coagulação, floculação e decantação.

Parâmetro	Valor
Tempo de mistura rápida (T_{mr})	10 s
Gradiente de velocidade médio de mistura rápida (G_{mr})	1000 s ⁻¹
Tempo de floculação (T_f)	20 min
Gradiente de velocidade médio de floculação (G_f)	25 s ⁻¹
Velocidades de sedimentação (V_s)	$V_{s1} = 3,0$ cm/min $V_{s2} = 1,5$ cm/min

Para a filtração empregou-se um kit FLA (Filtro de Laboratório de Areia) que possui diâmetro interno de 19 mm e meio filtrante constituído de areia, com 15 cm de espessura. O tamanho efetivo da areia foi de 0,45 mm, tamanho mínimo e máximo de, respectivamente, 0,33 e 1,37 mm e coeficiente de desuniformidade de 1,60; a vazão média de filtração foi de 16 mL/min (correspondente a uma taxa de filtração de aproximadamente 80 m³/m².d) e a coleta se deu para o tempo médio de filtração de 20 min. Para a realização deste ensaio seguiu-se a metodologia proposta por Di Bernardo *et al.* (2000).

Para os ensaios de filtração direta foram empregados os mesmos parâmetros de mistura rápida apresentados na Tabela 4, mas durante todo o período de filtração foi mantida uma rotação de 100 rpm ($G_m = 125$ s⁻¹) para evitar a deposição dos flocos no jarro do jarrest.

Para se variar o pH de coagulação foi empregado agente alcalinizante (hidróxido de sódio, 0,1 N) ou acidificante (ácido clorídrico, 0,1 N). O coagulante empregado foi o sulfato de alumínio (líquido, mesmo empregado na ETA da SANEPAR em Ponta Grossa/PR; produto comercial, 4 g/L) e a solução preparada com concentração de 4 g/L.



Para tais ensaios foram empregados os agentes químicos de menor custo e maior disponibilidade no mercado, sendo eles:

- Coagulante: sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14,3 \text{ H}_2\text{O}$);
- Acidificante (para ajuste do pH): ácido clorídrico (HCl);
- Alcalinizante (para ajuste do pH): hidróxido de sódio (NaOH);
- Carvão ativado em pó (CAP). CAP (Brascarbo, tipo K-800 Umectado, solução preparada com concentração de 5 g/L).

Foram medidos os parâmetros cor aparente e turbidez para as velocidades de sedimentação de 3,0 e 1,5 cm/min. Também foi medido o pH de coagulação.

Os equipamentos empregados para a realização de tais ensaios foram os seguintes:

- Jartest: Nova Ética – LDB Especial;
- pHmetro: Micronal – B474;
- Espectrofotômetro: Hach – 2010;
- Turbidímetro: Digimed.

Diante dos resultados obtidos nos estudos de tratabilidade realizados com a água da lavanderia, foram definidas as dosagens de produtos químicos necessários para se alcançar os padrões propostos pelo manual da SindusCon-SP (2005), bem como a tecnologia de tratamento mais apropriada para o estudo de caso proposto.

Para a água de chuva recomenda-se o descarte dos primeiros milímetros e, então, a água receberá apenas cloro (conforme recomendado por SindusCon-SP, 2005) para fins de conservação da qualidade no reservatório. Embora não se possa generalizar, há um certo consenso em torno da necessidade de 1L/m² de água de chuva para a lavagem do telhado, ou seja, será rejeitado o primeiro milímetro de precipitação (NEVES et al., 2006).

Foi proposto um esquema de automação através de chave-bóia e sensores de fluxo para que seja priorizado o aproveitamento de água de chuva, a qual é menos onerosa.

Os reservatórios foram dimensionados de tal maneira que aproveitassem ao máximo a água de chuva (sem a ocorrência de *overflow* em muitos meses) e que suprissem toda a demanda dos vasos sanitários sem a utilização de água potável, somente de chuva e da lavanderia se fosse o caso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados obtidos junto ao hotel, constatou-se que a demanda de água para os vasos sanitários é de aproximadamente 6 m³/dia e que a oferta proveniente do efluente da lavanderia é de aproximadamente 4,7m³/dia. Levando em consideração que os dados da lavanderia (oferta) foram levantados em dias normais de movimento e que os dados das bacias sanitárias (demanda) foram calculados levando em consideração a máxima capacidade do hotel (pior situação), pode-se assim dizer que, em dias de movimento normal, a lavanderia poderia suprir a demanda de água das bacias sanitárias. Em função do exposto, poderia ser empregado um coeficiente de utilização o que iria diminuir a demanda, mas como a intenção deste trabalho é verificar a condição mais crítica, optou-se por não empregar o referido coeficiente.

Ainda analisando os dados do hotel e os índices pluviométricos da região (ver Quadro 1), notou-se um elevado potencial de captação de água pluvial. De aspecto mais limpo do que a água da lavanderia e de volume considerável, a água de chuva seria uma solução ideal para atender a demanda das bacias sanitárias. Porém, não existe uma regularidade da oferta de água pluvial e quantidade suficiente de água, podendo em alguns meses, a oferta de água não cobrir a demanda, o que levaria a busca de novas fontes de abastecimento. Esta nova fonte de abastecimento poderia ser a concessionária local (SANEPAR) ou ainda as águas da lavanderia do hotel. Este sistema misto proporcionaria a total cobertura da demanda de água. Ao mesmo tempo, a água de chuva ajudaria na diluição da água de lavanderia, que não possui um aspecto visual agradável (sem tratamento). Contudo, deve-se ter o cuidado de impossibilitar a ocorrência de conexões cruzadas, conforme mencionado na NBR-15527 (2007).

Por meio do Quadro 1 pode-se constatar que a utilização de um suprimento externo de água se fará necessário nos meses de abril a setembro e no mês de novembro, sendo que o mês mais crítico seria agosto. Para o mês mais crítico há uma necessidade de aproximadamente 2,9 m³/dia.



Quadro 1 – Método da simulação para o hotel em questão.

Mês	P média mensal l (mm)	Demanda (m³/mês)	Área Captação (m²)	Volume de chuva mensal (m³)	Volume do Reservatório (m³)	Overflow (m³)	Suprimento de água Externo (m³)
Jan	186	183,60	1537,31	228,75	15,00	30,15	0,00
Fev	161	183,60	1537,31	198,01	15,00	14,41	0,00
Mar	138	183,60	1537,31	169,72	15,00	0,00	0,00
Abr	101	183,60	1537,31	124,21	15,00	0,00	58,27
Mai	116	183,60	1537,31	142,66	15,00	0,00	40,94
Jun	118	183,60	1537,31	145,122	15,00	0,00	38,48
Jul	96	183,60	1537,31	118,07	15,00	0,00	65,53
Ago	79	183,60	1537,31	97,16	15,00	0,00	86,44
Set	136	183,60	1537,31	167,26	15,00	0,00	16,34
Out	153	183,60	1537,31	188,17	15,00	0,00	0,00
Nov	119	183,60	1537,31	146,35	15,00	0,00	32,68
Dez	151	183,60	1537,31	185,71	15,00	0,00	0,00
TOTAL =		2203,20		1911,18			

O Quadro 2 apresenta a caracterização da água da lavanderia do referido hotel.

Quadro 2 – Caracterização da água da lavanderia.

PARÂMETRO ANALISADO	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	61,44
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	244,98
Fósforo Total (mg P/L)	0,16
Nitrato (mg NO ₃ -N/L)	0,12
Nitrito (mg NO ₂ -N/L)	0,07
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	1,40
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	277,00
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	30,00
Óleos e Graxas (mg/L)	28,50
Cloro residual (mg/L)	0,00
pH com agitação	10,93
pH sem agitação	11,03
Cor Aparente (uH)	402
Turbidez (NTU)	80,2

De acordo com o manual da SindusCon-SP (2005), o tratamento mais adequado para utilizar a água de lavanderia nas bacias sanitárias é o tratamento físico-químico com coagulação, floculação, decantação ou flotação e filtração ou biológico por lodos ativados. Conforme se observa nos resultados da caracterização da água da lavanderia, a relação DBO/DQO é de 0,25, configurando assim que o tratamento mais indicado é o físico-químico. Por facilidades construtivas e menor custo de implantação (e principalmente de requerer menor área), será proposto um tratamento empregando a tecnologia de filtração direta. A lavagem do filtro (ou filtros) seria realizada com a própria água do reservatório superior (água não potável).

Devido ao hotel ter bom renome e delicado requinte, a água utilizada nos vasos sanitários, além de possuir residual de cloro, deverá apresentar um aspecto físico agradável. Pelo mesmo motivo o tratamento biológico também foi descartado. O aspecto estético da água é, portanto, um fator de grande importância nesse tipo de reuso. Neste caso o reuso está vinculado também ao “adorno arquitetônico”, exigindo grau de transparência, ausência de odor, cor, espuma ou quaisquer formas de substâncias ou componentes flutuantes. Pode-se assim dizer que a água de reuso para ser utilizada aqui, deve atender aos padrões estéticos da água potável.

Para atingir tal padrão de qualidade (transparência, ausência de odor, cor e qualquer substância ou componente flutuante) será necessário efetuar um tratamento desse efluente, para que a água atenda aos padrões da mais nobre classe de reuso de água (Classe 1 do manual da SindusCon-SP, 2005).



Pensando na praticidade e economia, foi elaborado um sistema para o aproveitamento de água de chuva e reaproveitamento de água de lavanderia. O sistema funciona da seguinte maneira: depois que a água de chuva passa pelos tanques de descarte, ela passará por um dosador de cloro por passagem (dosador por contato), o qual efetuará a dosagem automaticamente. A partir do momento que a cisterna se encontre completamente cheia, a água de chuva deve extravasar por um ladrão situado antes do tratamento, a fim de evitar que se elimine água de chuva já clorada.

Para compor o sistema de reaproveitamento de água de lavanderia o sistema é um pouco mais complexo. A água da lavanderia, a princípio, seria acondicionada em um tanque de equalização. Esta medida é necessária para que pelas dosadoras e pelo filtro (ou filtros) instalados a jusante, a vazão seja sempre constante, e para que a água a ser tratada seja uma água de característica mais homogênea possível, haja vista que as lavadoras de roupa possuem diferentes estágios.

Além do que, com o tanque de equalização, evitar-se-á o acionamento repetitivo das bombas de recalque e dosadoras, que seriam ativadas a cada etapa da máquina com um volume pequeno de água. Ao se evitar que as bombas liguem várias vezes ao dia, a vida útil das mesmas aumentará significativamente.

A abertura da válvula do tanque de equalização, para dar início ao tratamento físico-químico, será controlada por um sensor de nível, que permitirá a passagem de água da lavanderia mediante três condições:

- Quando o tanque de equalização estiver cheio, para que a homogeneização da água seja completa;
- Quando na cisterna existir pelo menos volume suficiente para receber o efluente tratado da lavanderia, de modo a garantir que o tratamento do efluente homogeneizado não seja interrompido pelo enchimento da cisterna;
- Um outro dispositivo será instalado na saída do tanque de equalização bloqueando a passagem do efluente da lavanderia pelo tratamento quando o sensor de fluxo detectar vazão na tubulação de água de chuva, ou seja, quando estiver chovendo, a água de chuva será priorizada, por se tratar de um tratamento menos oneroso.

A seguir serão apresentados os resultados dos estudos de tratabilidade.

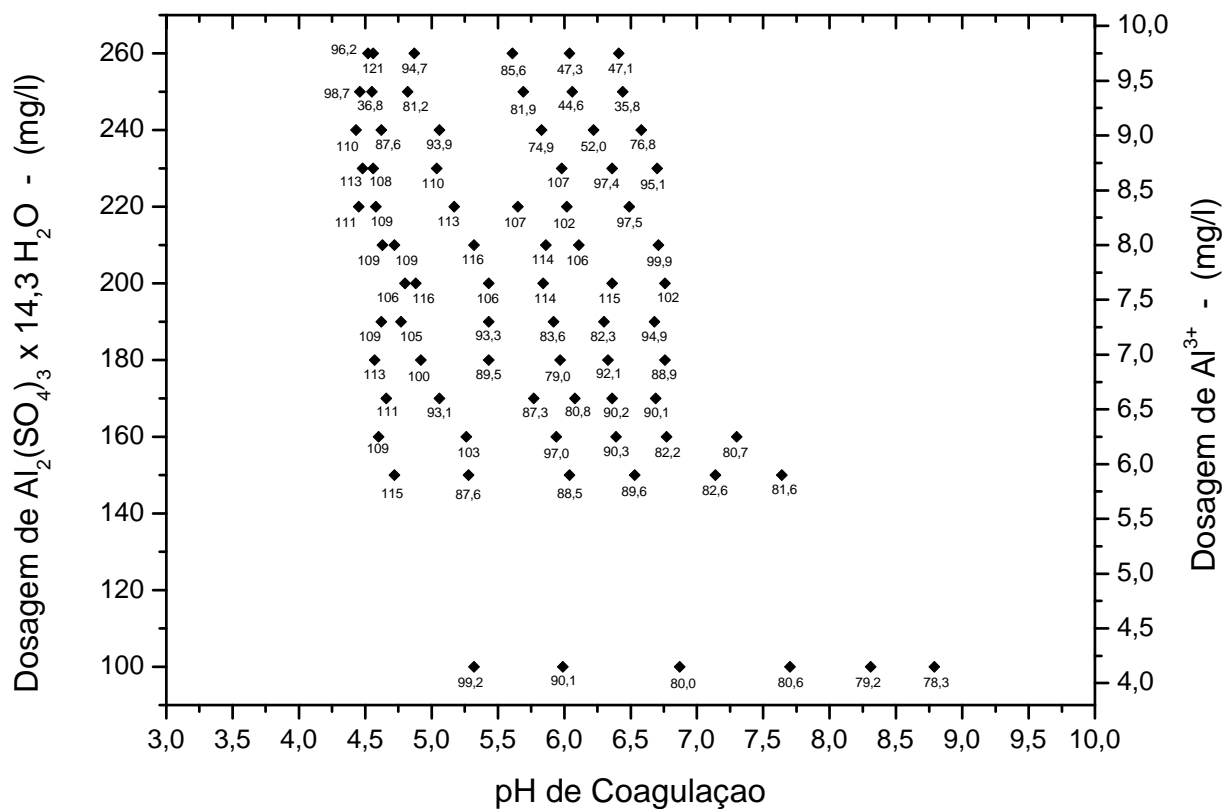


Figura 1 – Diagrama de coagulação para a turbidez remanescente (NTU) em função da dosagem de sulfato de alumínio x pH de coagulação para a água da lavanderia decantada com Vs de 3,0 cm/min.

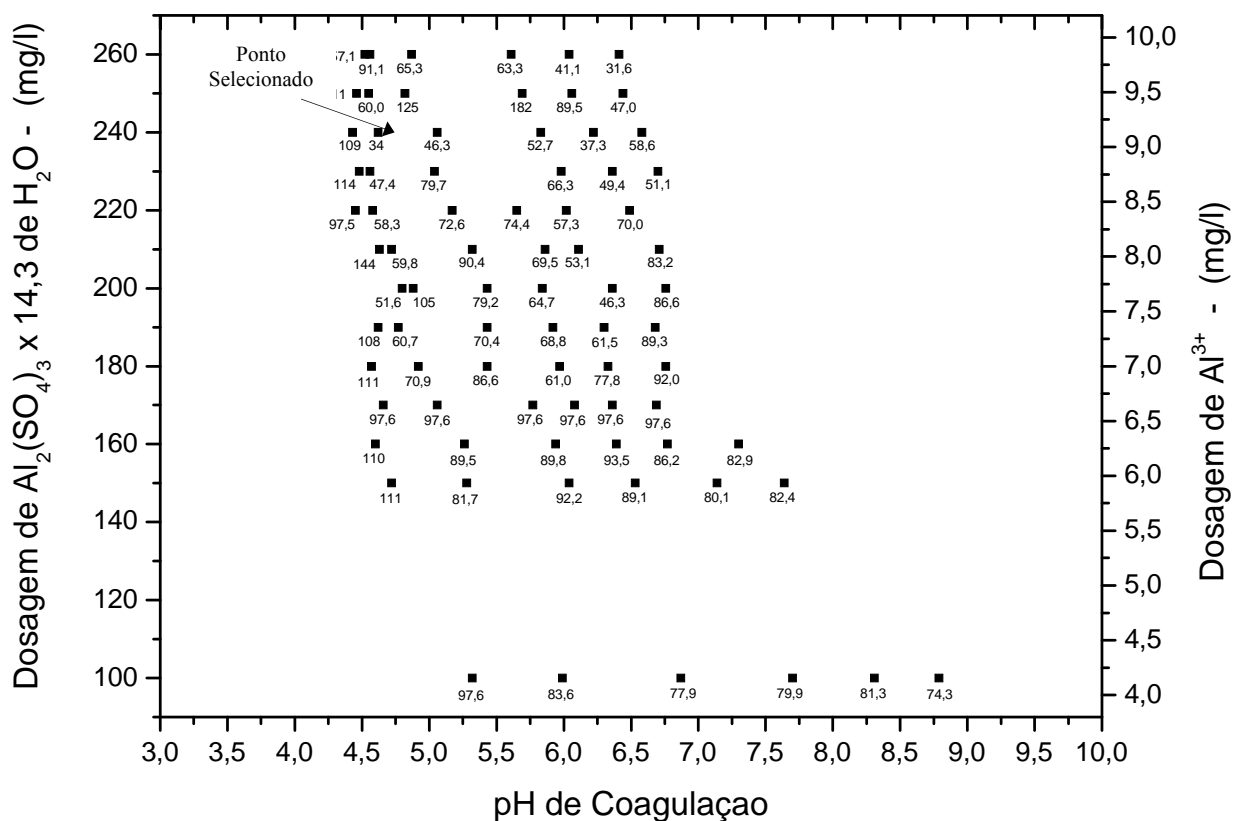


Figura 2 – Diagrama de coagulação para a turbidez remanescente (NTU) em função da dosagem de sulfato de alumínio x pH de coagulação para a água da lavanderia decantada com Vs de 1,5 cm/min.



Por meio da análise dos diagramas de coagulação das Figuras 1 e 2 pode-se verificar que uma dosagem de 240 mg/L de sulfato de alumínio (com 8 mg/L de HCl) no pH de coagulação de 4,62 apresentou resultados satisfatórios para o efluente em questão; portanto, este foi o par de valores dosagem de coagulante x pH de coagulação selecionado para continuar as demais etapas do trabalho (filtração e a adição de Carvão Ativado em Pó - CAP).

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com o tratamento em ciclo completo para a água da lavanderia do hotel adicionando-se o CAP.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de tratamento em ciclo completo com CAP para o ponto selecionado nos diagramas de coagulação.

T=20°C				Velocidade de Sedimentação				Filtração		
				3,0 cm/min		1,5 cm/min		Tempo de coleta: 20 min		
Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	HCl (mg/L)	CAP (mg/L)	pH _{Coag}	Turbidez (NTU)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Cor (uH)	pH _{Filtr}	Turbidez (NTU)	Cor (uH)
240	8	0	5,02	105,00	291	49,80	159	5,01	0,63	< 1
240	8	5	4,80	98,90	175	44,10	124	4,87	0,46	< 1
240	8	10	4,69	89,40	305	32,80	112	4,74	0,32	< 1
240	8	15	4,64	81,50	238	34,50	200	4,97	0,47	< 1
240	8	20	4,78	82,90	308	34,10	159	4,82	0,51	< 1
240	8	25	4,78	71,40	309	37,00	154	4,85	0,45	< 1

Analisando os resultados da Tabela 2, pode-se constatar que mesmo sem a utilização do CAP conseguiu-se atingir grau de potabilidade em relação aos parâmetros medidos, o que atende aos parâmetros característicos para a água de reuso classe 1, constante em SindusCon-SP (2005).

Porém, como a implantação desse tipo de sistema de tratamento tornaria inviável a execução do projeto (unidades de mistura rápida, floculação e decantação numa área reduzida disponível no hotel), foram realizados também ensaios de tratabilidade referentes à filtração direta, já que este tipo de tecnologia de tratamento requer menos área que o sistema convencional, proporcionando uma estação mais compacta.

A Tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados obtidos através dos ensaios de tratabilidade referentes à filtração direta, para a determinação da dosagem mais adequada do agente coagulante (sulfato de alumínio).

Tabela 3 - Determinação da dosagem de coagulante mais adequada para filtração direta (1º Ensaio).

Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	pH _{Coag}	pH _{Filtr}	Turbidez _{Filtr} (NTU)	Cor Aparente _{Filtr} (uH)
100,00	6,24	6,55	62,50	257,00
120,00	6,09	6,49	15,18	39,00
140,00	5,98	6,44	0,94	< 1
160,00	5,90	6,13	0,28	< 1
180,00	5,75	5,94	0,49	< 1
200,00	5,64	5,84	0,67	< 1

**Tabela 4 - Determinação da dosagem de coagulante mais adequada para filtração direta (2º Ensaio).**

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/L)	pH_{Coag}	pH_{Filtr}	Turbidez _{Filtr} (NTU)	Cor Aparente _{Filtr} (uH)
130,00*	6,12	6,28	0,65	< 1
150,00	5,98	6,10	0,55	< 1
170,00	5,82	6,13	0,25	< 1
220,00	5,40	5,74	0,47	< 1
240,00	5,16	5,49	0,47	< 1
260,00	4,97	5,41	0,53	< 1

*Dosagem selecionada.

Analisando-se as Tabelas 3 e 4, verifica-se que a dosagem de 130 mg/L de sulfato de alumínio (em todos os casos não foram dosados agentes alcalinizantes ou acidificantes) foi a mais apropriada para a água em estudo, atendendo inclusive à portaria 518/2004 do Ministério da Saúde em relação aos parâmetros medidos, ou seja, para água potável. Assim, esta dosagem foi escolhida para se avaliar a dosagem de CAP. Com isto observa-se outra vantagem da tecnologia de filtração direta em relação ao tratamento em ciclo completo, pois a dosagem de coagulante foi substancialmente menor, além de não requer agente acidificante para ajuste do pH de coagulação.

Tabela 5 – Verificação da necessidade de se utilizar carvão ativado em pó (CAP) na filtração direta.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/L)	CAP (mg/L)	pH_{Coag}	pH_{Filtr}	Turbidez _{Filtr} (NTU)	Cor Aparente _{Filtr} (uH)
130,00	5,00	6,11	6,45	1,06	< 1
130,00	10,00	6,09	6,49	0,88	< 1
130,00	15,00	6,04	6,51	0,83	< 1
130,00	20,00	6,08	6,55	0,74	< 1
130,00	25,00	6,10	6,61	0,65	< 1
130,00	30,00	6,12	6,61	0,40	< 1

Os ensaios foram ainda repetidos com a dosagem de 130 mg/L de coagulante sendo utilizada a filtração direta com a adição de 30 mg/L de CAP (custo mais elevado de tratamento e com resultados satisfatórios) e sem o CAP (custo menor e com resultados satisfatórios). Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os resultados após o tratamento. Estes ensaios também foram empregados para se ter uma réplica e a obtenção de resultados mais confiáveis.

Tabela 6 – Réplica e amostras mais representativas com dosagem de CAP e filtração direta.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/L)	CAP (mg/L)	pH_{Coag}	pH_{Filtr}	Turbidez _{Filtr} (NTU)	Cor Aparente _{Filtr} (uH)
130,00	30,00	6,14	5,59	1,35	< 1
130,00	30,00	6,11			
130,00	30,00	6,09			
130,00	30,00	6,11			
130,00	30,00	6,13			
130,00	30,00	6,15			



Tabela 7 – Réplica e amostras mais representativas sem dosagem de CAP e filtração direta.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/L)	pH_{Coag} (mg/L)	pH_{Filtr}	Turbidez _{Filtr} (NTU)	Cor Aparente _{Filtr} (uH)
130,00	6,08	5,50	1,95	< 1
130,00	6,09			
130,00	6,10			
130,00	6,12			
130,00	6,07			
130,00	6,11			

Analizando os dados obtidos nas Tabelas 6 e 7, pode-se constatar que mesmo sem a utilização do CAP, os parâmetros de cor e turbidez medidos conduziram a resultados que atingiram qualidade condizente com os parâmetros característicos para a água de reuso classe 1 (turbidez ≤ 2 NTU e cor aparente ≤ 10 uH), constante em SindusCon-SP (2005). Assim, descartou-se a necessidade de diluição em água de chuva, podendo, caso necessário, empregá-la isoladamente.

Durante o ensaio constatou-se visualmente uma rápida colmatção dos filtros, ou seja, rapidamente eles saturavam, o que exigirá constantes lavagens do filtro em uma instalação real. A tecnologia de tratamento que poderia minimizar tal problema seria a Dupla Filtração, onde o filtro ascendente poderia ser em areia grossa ou pedregulho e ainda com a possibilidade de realização de descargas de fundo intermediária, o que aumentaria significativamente a duração da carreira de filtração no filtro ascendente. A construção e operação de uma instalação piloto proporcionaria a obtenção dos parâmetros de projeto mais apropriados para este caso.

Também se verificou uma rápida diminuição no valor do pH do efluente (água da lavanderia) ao longo da realização dos ensaios, assim recomenda-se a realização de ensaios de tratabilidade em instalação piloto de escoamento contínuo para se aproximar mais da realidade. Contudo, caso o sistema de tratamento seja construído no hotel, foi proposto à construção de um tanque de equalização. Com isto o comportamento seria semelhante ao observado, haja vista que a água da lavanderia seria armazenada por certo período de tempo.

CONCLUSÕES

Com os resultados da caracterização da água da lavanderia obteve-se relação DBO/DQO de 0,25, configurando assim que o tratamento mais indicado para este efluente deve ser o físico-químico. Por facilidades construtivas e, principalmente, menor área em relação ao tratamento em ciclo completo foi proposto um tratamento empregando a tecnologia de Dupla Filtração, com dosagem de 130 mg/L de sulfato de alumínio (sem necessidade de ajuste do pH de coagulação), onde a coagulação será em linha e o filtro ascendente com meio filtrante constituído de areia grossa ou pedregulho.

Analizando-se os dados obtidos com o estudo de tratabilidade com a água da lavanderia, pôde-se constatar que mesmo sem a utilização do carvão ativado em pó, os resultados atenderam aos parâmetros característicos para a água de reuso classe 1, constante em SindusCon-SP (2005).

Assim, a água de lavanderia não precisa ser diluída com a água de chuva para atingir a qualidade necessária para o reuso.

Como a água de chuva apresenta um sistema de tratamento mais simplificado, a sua utilização poderá ser privilegiada por meio de sensores de fluxo. A primeira porção de chuva será descartada através de tanques de descarte instalados em cada tubo de queda.

Por meio do método da simulação constatou-se que um reservatório de 15m³ atenderia de maneira satisfatória ao sistema proposto, pois seu porte não exigirá vultuosos investimentos para execução e em 5 meses no ano não necessitará de suprimento externo. O reservatório de água de chuva proporcionaria um potencial de economia de água potável de cerca de 85%.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e seus funcionários, pelos equipamentos, análises e produtos químicos. Os autores também agradecem aos alunos de iniciação científica Diego Augusto Fioravante e Osmar Selhorst Filho pela realização dos ensaios em jarrest, além da empresa Nova Ética, a qual gentilmente cedeu o equipamento jarrest.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – NBR 15527 – **Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos**, 2007.
2. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos. RiMA, 237 p, 2002.
3. DI BERNARDO, L.; PÁDUA, V.L.; DI BERNARDO, A.S. (2000). **Desenvolvimento de instalação de laboratório para determinação da dosagem de coagulante na filtração direta**. In: IX SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Seguro/BA. *Anais eletrônicos*, 2000.
4. MAY, Simone. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações**. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
5. NEVES, M.V.; BERTOLO, E.; ROSSA, S. **Aproveitamento e Reutilização de Água para Uso Doméstico**. Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente. Porto, Portugal, 2006.
6. SANTOS, Daniel Costa dos. Apostila do **Curso de Conservação de Água nas Edificações: Fontes Alternativas**. Curitiba. 103p, 2007.
7. SANTOS, Maria de Lourdes Florêncio dos (Coord.); Bastos, Rafael Kopschitz Xavier; Aisse, Miguel Mansur. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. 1.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 1-15.
8. SINDUSCON-SP. **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. São Paulo, Prol Editora Gráfica, 151 p, 2005.