



Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de água de chuva em uma indústria metalmeccânica na região metropolitana de Curitiba PR

Technical and economic viability analysis of rain water use in a metal-mechanic industry in the metropolitan region of Curitiba, Parana state, Brazil

Celimar Azambuja Teixeira^{1*}
Gleidiston Tadeu Zattoni¹
André Nagalli¹
Flávio Bentes Freira¹
Sidnei Helder Cardoso Teixeira²

Resumo: Este estudo tem por objetivo verificar a possibilidade de aproveitamento da água da chuva em uma indústria metalmeccânica localizada no município de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba, considerando o volume de chuvas, necessidade da indústria, as características de qualidade da água de chuva da região, além de uma simulação da cobrança pelo uso da água e emissão dos seus efluentes lançados em um córrego próximo. Nesta avaliação, verificou-se que o aproveitamento da água de chuva pode ser viável devido ao comportamento hidrológico da região e a qualidade dessa água, verificada por ensaios de laboratório. Além disso, realizou-se uma simulação para estimar a provável economia ao se evitar o pagamento pela captação e emissão dos lançamentos nos corpos d'água da região, além do orçamento do reservatório proposto para o armazenamento da água de chuva.

Palavras-chave: Aproveitamento de água de chuva; Reuso na indústria; Cobrança pelo uso da água.

Abstract: *This study aims to verify the possibility of rainwater use in a metal-mechanic industry in the municipality of São José dos Pinhais, metropolitan region of Curitiba, considering the rainfall and the characteristics of rainwater quality in the region, as well as the needs of this industry. A simulation of the charging for water use and emission of effluents into a nearby stream was also conducted. Results of this evaluation showed that the exploitation of rainwater might be feasible due to the hydrological behavior of the region and the quality of such water, which was verified by laboratory testing. In addition, a simulation was conducted to estimate the possible economy with respect to payment for water collection and effluent emission, as well as to the investment in the proposed reservoir for rainwater storage.*

Keywords: *Rainwater utilization; Reuse in industry; Charging for water use.*

1 Introdução

O uso da água de chuva vem se tornando cada vez mais importante devido ao atual cenário ambiental que o planeta vem passando. Esta técnica, há muito tempo utilizada em locais com escassez hídrica, atualmente vem ganhando força em regiões onde existe maior disponibilidade deste recurso. As indústrias também já sentem os efeitos da escassez de água. Até pouco tempo, a necessidade de água era suprida utilizando-se captações em rios e reservatórios subterrâneos, mas, diante de leis que visam à cobrança pela captação

dessa água, as empresas têm mais um custo sendo agregado ao processo produtivo.

O esgotamento dos recursos hídricos não se deve apenas à falta de água, mas também à perda da sua qualidade, a ponto de se enfrentar o dilema entre destinar água à produção ou ao consumo humano. Vale ressaltar que a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005) prevê que, em situações de escassez de água, as outorgas de direito de uso para o setor industrial podem ser temporariamente suspensas,

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, CEP 81280-340, Curitiba, PR, Brasil, e-mail: celimar@utfpr.edu.br; zattoni@gmail.com; nagalli@utfpr.edu.br; flaviofreire@utfpr.edu.br

² Universidade Federal do Paraná – UFPR, CEP 81530-900, Curitiba, PR, Brasil, e-mail: s.teixeira@ufpr.br

até que se restabeleça a condição de vazão de referência. O objetivo desta atitude é o de preservar o abastecimento doméstico.

O plano de manejo das Bacias Hidrográficas do Paraná tem como objetivo assegurar o suprimento e a qualidade da água fornecida à população, além de gerenciar a água pelos outros setores da economia (industrial, agrícola, geração de energia, dentre outros). Uma das saídas para este impasse é o reuso da água e a utilização de fontes antes consideradas inviáveis ou alternativas até o presente momento, como é o caso da água de chuva.

Em alguns países da Europa, por exemplo na Alemanha, há muito tempo se estimulou a captação da água de chuva, porém com a finalidade de combater enchentes urbanas. Este estímulo fez com que o país desenvolvesse e aprimorasse seus processos de aproveitamento de água, sendo hoje muito utilizados em residências, comércios e indústrias (Machado & Cordeiro, 2004).

2 Revisão bibliográfica

Em 1997 foi elaborada a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/97) (Brasil, 1997) que define a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico. No Capítulo IV desta mesma lei, dispõem-se dos instrumentos definidos para gestão dos recursos hídricos, como a outorga pelo direito de uso da água e a sua cobrança correspondente.

A taxa pelo uso da água objetiva incentivar o consumo consciente, pois gera um custo a quem a consome. Indiretamente a busca por fontes alternativas de água, como a de chuva e o tratamento de águas residuárias de processos industriais e domésticos, também é incentivada.

Com a criação da Agência Nacional das águas, ANA, a partir da Lei Nº 9.984/00 (Brasil, 2000), iniciou-se a implantação do sistema nacional de recursos hídricos e a água passou a ser alvo de um plano gestor. Com isso, os Estados iniciaram a criação dos comitês de Bacias Hidrográficas, fornecendo subsídios técnicos para instalação de tais políticas.

No Paraná, o Decreto Estadual Nº 5.361/02 (Paraná, 2007) regulamentou a cobrança pelo direito de uso de recursos hídricos, estabelecendo a forma de cobrança por captação de água e emissão de efluentes, além do método de cálculo.

Em 31 de abril de 2009, foi aprovada a criação do Instituto das Águas do Paraná, definindo assim o gestor dos recursos hídricos no Estado. A criação deste órgão foi um passo importante para a cobrança pelo uso da água. Com o intuito de encontrar fontes alternativas de água e evitar a cobrança pela utilização, decidiu-se estudar a possibilidade do uso da água de chuva.

Para se avaliar a viabilidade do aproveitamento da água de chuva como uma alternativa na indústria, é importante analisar dados como: volume de chuvas e a periodicidade das precipitações.

A avaliação dos parâmetros da água nos pontos de consumo são de extrema relevância, sendo necessária uma adequação destas características de acordo com o uso desejado (Oenning & Pawlowsky, 2007).

Além disso, Campos et al. (2007) apresentam uma informação relevante para este trabalho, o tempo de chuva necessário para que a água apresente boas características e possa ser utilizada com o mínimo de tratamento.

A NBR 5626 (ABNT, 1998) - Instalação predial de água fria dá diretriz para a instalação de reservatórios de água e apresenta os procedimentos para o armazenamento adequado de água, indicando as condições construtivas, equipamentos e instalações para tal. Já a NBR 15527 (ABNT, 2007) traz as questões relativas ao aproveitamento da água de chuva e os diversos métodos para se dimensionar o volume do reservatório.

3 Metodologia

No início dos trabalhos de avaliação, foi identificada a possibilidade de utilização de toda a área de cobertura da indústria, visto que se trata de uma indústria metalmeccânica localizada na região metropolitana de Curitiba-PR e perfaz uma área de cerca de 25.000 m², sendo que grande parte do perímetro desta cobertura possui calhas para coleta de água.

Correlacionando a cobertura das instalações industriais e a média pluviométrica da região é possível prever a disponibilidade de água a ser coletada.

Outro aspecto importante levantado neste estudo é a questão da cobrança pelo uso da água, ou seja, quanto seria pago pela extração da água para a indústria e a sua utilização no sistema produtivo.

Para simulação deste valor, se utilizou como base o “CTCOB (Câmara Técnica de Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos) das bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira” no documento gerado em agosto de 2007 (Paraná, 2007). Nele encontram-se simulações para algumas indústrias situadas na bacia do Alto Iguaçu e valores para as variáveis utilizadas nas fórmulas de cálculo da cobrança pela captação e emissão da água.

Para a simulação da cobrança pelo uso da água, utilizaram-se dados de uma simulação do Instituto das Águas do Paraná para a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu.

Além disso, dimensionou-se e orçou-se o reservatório de água de chuva, considerando os diversos Métodos da NBR 15527/2007 (ABNT, 2007).

3.1 Pluviometria

Os índices pluviométricos para este estudo foram obtidos a partir da estação meteorológica do Instituto das Águas do Paraná (2007). Os dados foram coletados para os anos de 1982 até 2007 e referem-se à Bacia do Rio Iguazu, na estação denominada Prado Velho – PUC. Com base nestes dados, foram utilizadas as médias mensais e média anual histórica para o período de 1982 a 2007. Assim, $P_{\text{anual}} = 1487,50$ mm (média anual) e respectivamente P_t (de janeiro a dezembro, em mm): 225,80; 186,60; 69,20; 100,00; 106,20; 25,60; 41,60; 104,20; 179,20; 116,60; 170,40 e 162,10 (médias mensais).

Para definir a quantidade a acumular-se, levantou-se a necessidade de água da indústria.

Os locais de consumo identificados com possível potencial de utilização da água acumulada são apresentados na Tabela 1.

A demanda diária da indústria é de 26,86 m³ por dia, ou seja, 805,8 m³ por mês, como apresentado na Tabela 1.

3.2 Qualidade da água

Em pontos de consumo, como sanitários e torneiras destinadas à irrigação, a necessidade de correção da água captada é pouco necessária, pois as características da água pluvial atendem a suas exigências, como mostrado nas Tabelas 2 e 3.

Para avaliar a utilização da água da chuva, tornou-se necessária a verificação da qualidade desta água.

A água destinada à lavagem de ferramentas e reposição na coluna de resfriamento deve obedecer a alguns parâmetros de qualidade apresentados na Tabela 3.

As características da água de chuva na região da indústria, a qualidade da água do poço e valores da literatura, como recomendações de qualidade da água em cada ponto de consumo, são apresentados na Tabela 2.

Na Tabela 3, são apresentadas as características da água de chuva nas proximidades da indústria, passando pelo telhado e descartando os 10 primeiros minutos de chuva. Os resultados dos parâmetros demonstram que as características da água pluvial atendem às necessidades dos pontos de demanda.

Tabela 1. Pontos de consumo e demanda de água por ponto de consumo, referência diária.

Pontos de consumo	Consumo	Unidades	Frequência de uso	Demanda diária (m ³)
Sanitários	6 L/ descarga (1)	430 funcionários	3 vezes/dia. funcionário (1)	10,8
Irrigação	2 L/ m ² dia (1)	1500 m ² (2)	Diária (1)	3
Lavação de piso	2 L/ m ² dia	5000 m ²	Diária	10
Lavação de ferramentas	500 L/ Unidade (3)	4 Unidades	Mensal	0,06
Reposição na Coluna de Resfriamento	3 m ³ dia		Diária	3
Total				26,86

(1) Bezerra (2010) apud Tomaz (2005); (2) Valor equivalente a um jardim na entrada da unidade e área gramada do entorno; (3) Valor estimado pela empresa.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos mínimos necessários para utilização de água.

Parâmetros	Unidade	Possíveis pontos para utilização de água da chuva			
		Água para lavagem de ferramentas	Torres de resfriamento	Lavagem de piso e irrigação	Descarga sanitária
Temperatura	°C	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente
pH	-	6-8	6-9	6-9	6-9
Turbidez	NTU	≤ 2	≤ 3	≤ 2	≤ 5
DQO	mg/L	≤ 50	≤ 75	≤ 25	≤ 75
DBO5	mg/L	≤ 30	≤ 30	≤ 10	≤ 30
Dureza	mg/L CaCo3	≤ 30	50-180	≤ 500	≤ 500
Condutividade	μ.S/cm	SE	800-1200	SE	SE
Coliformes totais	mg/L	SE	SE	SE	SE
Sólidos totais	mg/L	≤ 1005	≤ 530	SE	SE
Coliformes fecais	NMP/100 ml	Ausente	≤ 200	Ausente	≤ 1000

Fonte: Oenning & Pawlowsky (2007); SE: Sem Efeito.

Tabela 3. Característica da água da chuva.

	Unidade	Características da água
		Água da chuva (4)
Temperatura	°C	Ambiente
pH	-	6,1
Turbidez	NTU	1,8
DQO	mg/L	15
DBO5	mg/L	1,3
Dureza	ppm CaCo3	6,9
Condutividade	μ.S/cm	100
Coliformes totais	mg/L	570
Sólidos totais	mg/L	27,8
Coliformes fecais	NMP/100 ml	Ausência

(4) Chuva do dia 5/2/2010. Coletada nas proximidades do Contorno Leste de Curitiba – Região de São José dos Pinhais.

Campos et al. (2007) estudou a variável de qualidade da água de chuva em relação ao tempo de precipitação. Esta variável é importante, pois, no início de uma precipitação pluviométrica, a água “lava” de certa maneira partículas e elementos químicos presentes no ar, como fuligens de automóveis e fábricas, CO₂, SO₂, entre outros. Além disso, sujeiras que se depositam na área de captação da água de chuva também a contaminam. Estes componentes acidificam a água ou conferem características indesejadas para seu uso, seja industrial ou doméstico. Foi feita uma série de coletas e experimentos, chegando-se à conclusão de que, após 10 minutos de precipitação, a qualidade da água da chuva apresentava pouca alteração com o tempo de precipitação.

Segundo Gwenzi et al. (2015), duas razões são importantes para a melhora da qualidade da água de chuva após o armazenamento, são elas: a intensidade da precipitação associada com a dimensão do primeiro descarte (*First Flush*) e a presença de contaminantes na água de chuva, provenientes da atmosfera e do próprio telhado.

Vários estudos demonstraram que dispositivos de primeiros descartes dimensionados para coletar de 0,11 a 2,6 mm são suficientes para melhorar a qualidade da água de chuva. (Van Metre & Mahler, 2003; Mendez et al., 2011). Porém Gikas & Tsihrintzis (2012) mostraram que primeiros descartes dimensionados para coletas de 0,11 a 0,13 mm não são suficientes para adequar a qualidade da água de chuva armazenada.

3.3 Cobrança pelo uso da água

Segundo Scroccaro & Machado (2007), no Estado do Paraná e para a bacia do Alto Iguaçu e Vale do Ribeira, local onde se encontra a indústria em questão, o método utilizado para o cálculo da cobrança pelo uso da água é definido no Decreto Estadual nº 5.361/02 (Paraná, 2002) e é dado pela seguinte Equação 1:

$$V_C = K_S * K_R * (P_{u_{EX}} * V_{EX} + P_{u_{CN}} * V_{CN}) \quad (1)$$

Em que: V_C : Valor da conta; $P_{u_{EX}}$: Preço por unidade da água extraída; $P_{u_{CN}}$: Preço por unidade de volume de água consumida; V_{EX} : Volume de água extraída; V_{CN} : Volume de água consumida.

Já o cálculo de cobrança pela emissão de efluente é dado pela Equação 2, apresentada a seguir:

$$V_C = K_S * K_R * \left(\frac{P_{u_{DBO5}} * C_{DBO5} + P_{u_{SS}} * C_{SS} +}{P_{u_{\Delta}} * C_{\Delta} + P_{u_{PA}} * C_{PA}} \right) \quad (2)$$

Em que: V_C : Valor da conta; $P_{u_{DBO5}}$: Preço por unidade de DBO5 para degradar a matéria orgânica em R\$/Kg; $P_{u_{SS}}$: Preço por unidade de carga lançada de sólidos em suspensão, em R\$/Kg; $P_{u_{\Delta}}$: Preço por unidade da carga lançada correspondente à diferença entre a DQO e a DBO5, em R\$/Kg; $P_{u_{PA}}$: Preço por unidade da carga lançada de outros parâmetros adicionais incorporados à fórmula; C_{DBO5} : Carga de DBO5 necessária para degradar a matéria orgânica em Kg//por unidade de tempo; C_{SS} : Carga lançada de sólidos em suspensão, em Kg/unidade de tempo; C_{Δ} : Carga lançada correspondente à diferença entre a DQO e a DBO5, em Kg/unidade de tempo; e C_{PA} : Carga lançada de outros parâmetros adicionais incorporados à fórmula e aprovados pelo Comitê da Bacia em R\$/unidade de tempo.

Além disso, foram adotados outros coeficientes, tais como o Kr (Coeficiente regional), de acordo com a Equação 3 e o Ks (Coeficiente Sazonal).

$$K_r = \frac{\sum(P_i * F_i)}{\sum P_i} \quad (3)$$

Fatores F_i e P_i não foram definidos pelo órgão competente até o momento da elaboração deste trabalho.

Fator FI - Classe preponderante de uso em que esteja enquadrado o corpo de água.

Fator FII - Prioridades regionais e as funções social, econômica e ecológica da água.

Fator FIII - Disponibilidade e o grau de regularização da oferta hídrica.

Fator FIV - proporcionalidades da vazão outorgada e do uso consumptivo em relação à vazão outorgável.

Fator FV - Outros fatores estabelecidos a critério do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH/PR;

PI a Pv – São os pesos correspondentes a cada fator FI a Fv.

Ks - Coeficiente sazonal - Refere-se à possibilidade de serem estabelecidos valores de cobrança distintos para diferentes épocas do ano.

O valor de cobrança até o momento de elaboração do trabalho estava em caráter de simulação. A seguir encontra-se a tabela com tais valores. Ks e Kr são admitidos como 1 para efeito de simulação pela Sudersha enquanto os valores reais não forem definidos.

Na Tabela 4, são apresentados os valores para os cálculos de cobrança pelo uso da água para captação do recurso hídrico.

Na Tabela 5, são apresentados os valores para os cálculos de cobrança pelo uso da água para lançamento dos efluentes no corpo d'água.

4 Resultados

O valor pelo uso de recursos hídricos segue com estudos e consultas populares, realizados pelos órgãos competentes (atual Instituto Águas do Paraná) para obter o valor justo a ser cobrado em cada bacia hidrográfica do Estado do Paraná. Visto que cada região do Estado apresenta características próprias, o valor da água em cada região será diferenciado, levando em consideração a finalidade do consumo e o lançamento das águas residuárias.

A seguir é apresentada a simulação da cobrança baseada em valores disponibilizados pelo “CTCOB (Câmara Técnica de Cobrança pelo Uso de Recursos

Hídricos) das bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira), no documento gerado em agosto de 2007 (Paraná, 2007). Atualmente este órgão recebe a denominação de Instituto Águas do Paraná.

- Fórmula para cobrança por captação e consumo de água (Vcc) é dado pela Equação 4:

$$V_{cc} = K_s * K_r * (P_{U_{ex}} * V_{ex} + P_{U_{CN}} * V_{CN}) \quad (4)$$

Vcc = 8,058 Reais/dia ou Vcc = 241,74 Reais/Mês

- Valor cobrado por emissão de efluente (Vce):

Um ponto importante para este cálculo é que parte da água utilizada em uma torre de resfriamento é perdida por evaporação e outra parte retorna ao processo, não existindo mistura com o efluente enviado para a estação de tratamento. Por este motivo, o volume de 26,86 m³/dia consumidos é diminuído de 3 m³/dia, que corresponde ao volume que circula continuamente na torre de resfriamento. O volume de efluente lançado é de 23,86 m³/dia.

- Fórmula para cobrança por emissão de efluente, é dado pela Equação 5:

$$V_{ce} = K_s * K_r * \left(\frac{P_{U_{DBO_5}} * C_{DBO_5} + P_{U_{SS}} * C_{SS} + P_{U_{\Delta}} * C_{\Delta} + P_{U_{pa}} * C_{pa}} \right) \quad (5)$$

Tomando a densidade da suspensão próxima à da água - 1 Kg/m³, tem-se: C_{DBO5} = 60 mg/L (Conama nº 357), C_{DOO} = 150 mg/L (Conama nº 357) e C_{SS} = 1 mL/L em teste de 1 hora (Conama nº 357) (Brasil, 2005). Com isso, o resultado foi: Vce = R\$ 12,072/dia ou Vce = R\$ 362,16 /Mês e o valor da cobrança total é a soma da Vcc com o Vce, portanto Vc = R\$ 603,9/Mês.

Tabela 4. Valores simulados para captação de água e lançamento de efluentes no Estado do Paraná, no local da indústria.

Fator gerador	Usuário	Parâmetros de cobrança			
		Volume captado (R\$/m ³)	Volume consumido (R\$/m ³)	Efluente lançado (R\$/m ³)	DBO5 (R\$/Kg)
Captação superficial/ regime de variação	Abastecimento urbano não industrial	0,0150	0,0300	-	-
	Abastecimento industrial	0,1500	0,2000	-	-
	Mineração	0,1500	-	-	-
	Agropecuária	0,0100	-	-	-
	Piscicultura	0,0010	-	-	-
Captação subterrânea/ Regime de variação	Abastecimento urbano não industrial	0,0150	0,0150	-	-
	Abastecimento industrial	0,1500 (5)	0,1500 (6)	-	-
	Mineração	0,1500	0,1500	-	-
Lançamento/ Disposição final/ Depuração de efluentes	Urbano não industrial	-	-	0,0100	0,2000
	Industrial	-	-	0,0500	0,6000

(5 e 6) Valores utilizados para cálculo da cobrança por volume de água captada e consumida, respectivamente.

Tabela 5. Valores simulados para volumes de captação de água e característica do efluente lançado no Estado do Paraná, no local da indústria.

Usos	Doméstico	Urbano não industrial	Industrial Mineração	Geração de energia hidroelétrica	Agropecuária	
Derivações/ Captações/ Extrações	Volume captado (R\$/m ³)	0,010	0,050	0,080	Isento	Não se aplica
	Volume consumido (R\$/m ³)	0,020	0,100	0,150	Isento	Não se aplica
	Volume derivado (R\$/m ³)				0,002	Não se aplica
	Volume extraído (R\$/m ³)	0,020	0,100	0,150	Isento	Não se aplica
Lançamentos (1)	DBO5 (R\$/Kg)	0,100	0,250	0,300 (7)	Isento	
	Sólidos Suspensos (R\$/Kg)	0,150	0,350	0,450 (7)	Isento	
	Diferença entre DQO e DBO (R\$/Kg)	0,200	0,500	0,600 (7)	Isento	
	Parâmetros adicionais	-	-	-	Isento	
Aporte Potencial Hidroelétrico	Isento	Isento	Isento		Isento	

(7) Valores utilizados para cálculo da cobrança de emissão de efluente.

Utilizando-se os valores de simulação da SUDERHSA que atualmente recebe o nome de Instituto das Águas do Paraná, o valor cobrado pela captação de água e emissão de efluente seria de R\$ 603,90 por mês ou R\$ 7246,8 por ano. Este valor serve como uma estimativa para a análise do impacto financeiro assim que se iniciar a/ cobrança pelo uso da água. Também serve como previsão para o levantamento do investimento para instalação do reservatório, retorno financeiro e viabilidade econômica (Paraná, 2007).

Para o dimensionamento do reservatório, foram utilizadas as recomendações da NBR 15527/2007 (ABNT, 2007), que trata dos requisitos do aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis. A NBR 15527/2007 contém seis métodos para dimensionamento de reservatórios de água de chuva apresentados no seu anexo, tais métodos são descritos na referida NBR e detalhados em Bezerra et al. (2010).

Para o cálculo do reservatório, utilizou-se o valor de 0,80 para o coeficiente *c* (coeficiente de *run-off*), referente às telhas corrugadas de metal, que cobrem os 25.000 m² da indústria em questão. Em alguns métodos descritos na NBR 15527/2007 (ABNT, 2007), como no caso do Método Prático Australiano que utiliza o C_{AP} = coeficiente de aproveitamento do escoamento superficial ao invés do coeficiente de *run-off*. Para o C_{AP} neste artigo, utilizou-se o valor de 0,80. Tomando como base o consumo médio da empresa de 26,86 m³/dia, temos um volume a ser consumido mensalmente de 805,8 m³.

Devido ao consumo contínuo de água por parte da empresa e o fato de que o volume acumulado de chuvas não pode ser garantido no início de cada mês, o reservatório, em poucas situações, estará com sua capacidade máxima de armazenamento. Com o objetivo de evitar que o reservatório fique vazio nos meses secos, estima-se um sobrevolume de 20% do reservatório, ficando este com 966,72 m³. Este volume de 966,72 m³ para armazenamento de água é interessante, pois, nos meses mais chuvosos, o excedente será mantido para os meses mais secos, diminuindo a possibilidade de o reservatório secar durante os períodos de estiagem.

Na Tabela 6, são mostrados os volumes dos reservatórios obtidos por meio dos diferentes métodos descritos na NBR 15527/2007 (ABNT, 2007). Vale ressaltar que, utilizando-se o método de Rippl e as médias mensais de precipitação entre os anos de 1982 a 2007, o volume do reservatório resultou em zero, isso se deu porque, devido à grande área de captação e ao expressivo volume médio das chuvas, a oferta de água em todos os meses foi maior do que a demanda.

No método da Simulação, foi fixado que o reservatório estava vazio no início da contagem do tempo *t* para simular a situação de um reservatório recém-construído e portanto sem nenhuma quantidade de água de chuva armazenada. Além disso, neste método, a confiança é estabelecida como a relação entre o período em que o reservatório atende à demanda (não precisa ser abastecido com outra

Tabela 6. Resumo do dimensionamento dos reservatórios.

Métodos da NBR 15527	Volume do Reservatório	
	(m³)	Litros
Método de Rippl		
Utilizando como base as médias de 1982 a 2007	0	0
Utilizando como base o ano médio	293,8	293800
Utilizando como base o melhor ano	665,6	665600
Utilizando como base o pior ano chuvoso	1559	1559000
Método da Simulação	966,72	966720
Eficiência		
	Cheio	Vazio
Utilizando como base as médias de 1982 a 2007	0,36	0,33
Utilizando como base o ano médio	0,36	0,33
Utilizando como base o melhor ano	0,27	0,25
Utilizando como base o pior ano chuvoso	0,72	-1,33
Método prático Australiano	966,72	966720
Eficiência		
Utilizando como base as médias de 1982 a 2007	0,36	
Utilizando como base o ano médio	0,36	
Utilizando como base o melhor ano	0,27	
Utilizando como base o pior ano chuvoso	-0,57	
	(m³)	Litros
Método Azevedo Neto		
Utilizando como base as médias de 1982 a 2007	1557,39	1557388,3
Utilizando como base o ano médio	1561,88	1561875
Utilizando como base o melhor ano	2069,13	2069130
Utilizando como base o pior ano chuvoso	770,6	770595
	(m³)	Litros
Método prático Alemão		
Utilizando como base as médias de 1982 a 2007	580,18	580176
Utilizando como base o ano médio	580,18	580176
Utilizando como base o melhor ano	580,18	580176
Utilizando como base o pior ano chuvoso	580,18	580176
	(m³)	Litros
Método prático Inglês		
Utilizando como base as médias de 1982 a 2007	1854,03	1854033,7
Utilizando como base o ano médio	1859,38	1859375
Utilizando como base o melhor ano	2463,25	2463250
Utilizando como base o pior ano chuvoso	917,38	917375
	(m³)	Litros
NBR-15527		
Utilizando como base as médias de 1982 a 2007	1977,64	1977635,9
Utilizando como base o ano médio	1983,33	1983333,3
Utilizando como base o melhor ano	2627,47	2627466,7
Utilizando como base o pior ano chuvoso	978,53	978533,33

fonte de água) e o período total investigado, que são 12 meses para este estudo de caso. Além da confiança, foi verificada a eficiência do sistema, como sendo a relação entre o volume de chuva captada e o volume de chuva realmente utilizado, ou seja, o volume que não transbordou.

De acordo com Bezerra et al. (2010) no Método Prático Australiano, o volume do reservatório (V_R) é determinado por tentativas, para atender à demanda com confiança do sistema entre 90% e 99%, conforme recomendação da NBR 15527/2007 (ABNT, 2007). De acordo com as equações indicadas na norma e considerando o período de um ano que foi investigado nestes estudos de caso, o reservatório deve atender à

demanda por no mínimo 11 meses ao ano, para obter confiança de 91% (Equações 6 e 7).

$$\text{Confiança do sistema} = (1 - P_r) \quad (6)$$

em que:

P_r = falha do sistema

$$P_r = N_r / N, \quad (7)$$

em que:

N_r = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, ou seja, quando o reservatório está vazio no fim do mês ($V_{t-1} = 0$), sendo V_t definido pela Equação 8.

N = número de meses considerado no cálculo, sendo indicado na NBR 15527/2007 (ABNT, 2007) como geralmente 12 meses, portanto será o valor adotado neste artigo ($N = 12$)

$$V_t = V_{t-1} + Q_{it} - D_t \quad (8)$$

em que:

V_t = volume de água de chuva que está no reservatório no fim do mês

V_{t-1} = volume de água de chuva que está no reservatório no início do mês

Q_{it} = volume de água de chuva aproveitável no mês (m^3), conforme Equação 9, em que foi incluída a divisão por 1000 para ajustar a unidade de volume

D_t = demanda mensal para água de chuva (m^3), sendo que, nesta pesquisa, o volume da demanda é constante, portanto, na apresentação dos resultados, será adotada a nomenclatura D .

Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio (ou seja, $V_{t-1} = 0$). Além disso, quando $(V_{t-1} + Q_{it} - D) < 0$, então $V_t = 0$.

$$Q_{it} = A \times C_{AP} \times (P_t - I) / 1000 \quad (9)$$

em que:

Q_{it} = volume de água de chuva aproveitável no mês, considerando interceptação (m^3)

A = área de captação (m^2)

C_{AP} = coeficiente de aproveitamento do escoamento superficial (neste artigo adotado 0,8)

P_t = precipitação da chuva média mensal (mm)

I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, adotando-se 2 mm, conforme indicado na NBR 15527/2007 (ABNT, 2007).

Segundo Campos et al. (2007) e Bezerra et al. (2010) comentam que Rippl é o método mais utilizado, porém, por ter sido desenvolvido inicialmente para regularização de vazão, geralmente resulta em grandes reservatórios. Neste caso, outros métodos também resultaram em grandes volumes para o reservatório de armazenamento de água de chuva.

Apesar de a NBR 15527/2007 (ABNT, 2007) recomendar 6 métodos para o dimensionamento do reservatório de aproveitamento de água de chuva, esta norma também faz menção ao fato de que o projetista pode adotar outro valor para a dimensão do reservatório, desde que adote critérios técnicos e econômicos.

Portanto, como a demanda mensal da referida indústria é de $805,80 m^3$ e optou-se por adotar o volume do reservatório como sendo a demanda mensal acrescida de 20%, o valor total foi de $966,72 m^3$. Considerando critérios práticos construtivos, admitiu-se o volume de $1.000,00 m^3$ para o reservatório de armazenamento de água de chuva.

A instalação de um reservatório de águas pluviais é interessante sob o aspecto econômico e ecológico, porém não é recomendado utilizá-lo como única fonte de água para os fins abordados neste estudo.

Os autores recomendam uma outra fonte de água com a finalidade de garantir o abastecimento das necessidades da indústria em todos os momentos. Esta fonte pode ser a água fornecida pela companhia de saneamento, ou mesmo oriunda do reuso da água na própria indústria.

5 Custo do reservatório

De acordo com os resultados apresentados no item anterior, chegou-se à conclusão de que o volume adequado para o reservatório da indústria em questão é de $966,72 m^3$. Foram feitas avaliações de custos de construção do reservatório com o volume determinado, segundo duas alternativas, as quais seriam: a) tanque em concreto armado e b) reservatório semienterrado, revestido com geomembranas.

As avaliações estão apresentadas a seguir, sendo os valores utilizados referentes a valores médios de mercado para o período entre os anos de 2012 e 2013. Os valores unitários estão baseados em consultas junto a fornecedores e construtoras, no Brasil.

a) Reservatório de concreto

Na Tabela 7, é apresentado o orçamento para um tanque construído em concreto armado para um volume de $1000 m^3$.

b) Reservatório semienterrado revestido com geomembrana

Essa solução consiste na execução de uma escavação no terreno e utilização do material escavado para construção de um dique ao longo do perímetro da escavação, de tal modo a se garantir o balanço de massa entre escavação e aterro. Ou seja, todo e somente o volume do material escavado será utilizado para a construção do dique perimetral. Com isso, se evita a necessidade de áreas de empréstimo e de bota-foras, minimizando os impactos ao meio ambiente.

Internamente, o reservatório deve ser revestido com geomembranas de PEAD, com 1,5 mm de espessura, garantindo a sua impermeabilização. A cobertura do reservatório é feita utilizando um sistema de cobertura flutuante, constituído por uma geomembrana de PEAD e material flutuante, como poliestireno expandido. Este sistema de cobertura é fixado no entorno do reservatório, porém é livre para se movimentar verticalmente, em função da posição do nível d'água no interior do reservatório.

Depois da realização de diversas simulações, foi possível encontrar uma geometria otimizada para o reservatório, tal que garanta o volume necessário, minimize os volumes de escavação, garanta o equilíbrio de massa entre escavação e aterro. O reservatório

aqui considerado tem as seguintes características geométricas: Lados da escavação: 20 x 20 m; Profundidade da escavação: 2,8 m; Altura do aterro perimetral: 1,15 m; Borda livre: 0,5 m; Inclinação dos taludes de corte e aterro: 1V:1,5H e Largura da crista do aterro: 3,0 m.

Para essa geometria, obteve-se: volume de escavação igual a 715,5 m³; volume de aterro igual a 504,8 m³, já considerando um empolamento do solo de 40% e volume livre para armazenamento igual a 1001,6 m³. Considerou-se ainda a necessidade de armazenamento temporário do material escavado em um depósito temporário a 200 m do local da obra.

A Tabela 8 consiste na planilha de custos desta solução, de onde se verifica que o custo total de execução da obra, considerando materiais e serviços, é igual a R\$ 25.359,46.

Com relação à essa alternativa, no entanto, é necessário ter em mente que, por se tratar de um material polimérico, a geomembrana de cobertura pode se degradar ao longo do tempo por ação dos raios ultravioletas do sol. A indústria fornecedora da geomembrana faz referência à uma durabilidade estimada de 20 anos para as de PEAD estabilizadas quimicamente. De modo que, após esse período, haverá a necessidade de substituição da cobertura. Existe também uma possibilidade maior de necessidade de manutenções periódicas na cobertura, quando comparada com a solução clássica em concreto armado.

6 Análise financeira

Foi feita uma análise financeira de retorno de investimento com o objetivo de determinar indicadores que possibilitam a avaliação da viabilidade econômica da utilização da água de chuva em uma indústria metalmeccânica na região metropolitana de Curitiba PR.

Alternativa de referência: Nesta alternativa, são considerados os valores relativos à cobrança pelo uso da água proveniente dos recursos hídricos da região. Conforme apresentado, o valor pela captação da água resultaria em R\$ 241,74 por mês ou R\$ 2.900,88 por ano. Essa alternativa é tomada como referência para comparação com as demais alternativas. Isso significa dizer que os custos anuais desta alternativa foram tomados como retorno dos ativos relativos às Alternativas 1 e 2.

Alternativa 1: Nesta alternativa, considera-se o custo da construção do reservatório em concreto armado, estimado em R\$ 389.079,70, admitindo-se o período de construção de 1 ano. Considera-se, como retorno, o valor de R\$ 2.900,88 por ano (referente à economia pelo não uso da alternativa de referência).

Alternativa 2: Nesta alternativa, considera-se o custo da construção do reservatório semienterrado,

Tabela 7. Orçamento de um tanque de 10 m³, em concreto armado.

<i>Reservatório elevado padrão 1000 m³ (25 x 20 x 2)m</i>				
Serviço / Produto	unid.	Quant.	R\$ unit.	R\$ total
Concreto bombeado, fck 20,0MPa, slump 12 ± 3, brita 1	m ³	151	340,00	51.530,40
Fornecimento corte e dobragem de armadura em aço CA-50	kg	15.156	3,40	51.530,40
Montagem e colocação de armaduras	kg	15.156	1,10	16.671,60
Forma	m ²	2.357	73,59	173.495,78
Regularização de superfície	m ²	1.178	16,40	19.332,32
Fornecimento e aplicação de manta 4 mm	m ²	1.178	54,80	64.598,24
Proteção mecânica de impermeabilização	m ²	1.178	8,45	9.960,86
Instalações hidráulicas	vb	1,0	560,10	560,10
Filtro	unid.	1,0	1.400,00	1.400,00
Total:				389.079,70

Tabela 8. Orçamento de um tanque revestido com geomembranas.

<i>Reservatório semienterrado revestido e coberto com geomembrana</i>				
Serviço / Produto	unid.	Quant.	R\$ unit.	R\$ total
Mobilização	vb	1,0	2.000,00	2.000,00
Desmatamento e limpeza	m ²	500,0	1,20	600,00
Escavação em solo 1a categoria	m ³	715,5	2,50	1.788,75
Transporte DMT 0,2 km	m ³	1009,6	0,48	484,61
Execução de aterro compactado	m ³	504,8	5,00	2.524,00
Geomembrana para impermeabilização	m ²	480,0	16,80	8.064,00
Geomembrana para cobertura flutuante	m ²	441,0	18,00	7.938,00
Instalações hidráulicas	vb	1,0	560,10	560,10
Filtro	unid.	1,0	1.400,00	1.400,00
Total:				25.359,46

Tabela 9. Resultados da análise financeira.

Indicador	Alternativa 1	Alternativa 2
Valor Presente Líquido, 20 anos (VPL)	R\$ -319.389,28	R\$ 5.360,93
Valor Presente Líquido em Perpetuidade (VPL)	R\$ -293.831,15	R\$ 30.919,07
Taxa Interna de Retorno (TIR)	-31,6%	5,4%
<i>Payback</i>	Não ocorre	14 anos

Tabela 10. Demonstração da análise financeira para a Alternativa 2.

Ano	Investimento (R\$)	Geração de caixa (R\$)	Geração líquida (R\$)	Fluxos Descontados (R\$)	Payback (R\$)
1	25.359,46		-25.359,46	-22.642,38	-22.642,38
2		2.900,88	2.900,88	2.312,56	-20.329,81
3		3.074,93	3.074,93	2.188,68	-18.141,13
4		3.259,43	3.259,43	2.071,43	-16.069,71
5		3.454,99	3.454,99	1.960,46	-14.109,25
6		3.662,29	3.662,29	1.855,43	-12.253,82
7		3.882,03	3.882,03	1.756,03	-10.497,79
8		4.114,95	4.114,95	1.661,96	-8.835,83
9		4.361,85	4.361,85	1.572,93	-7.262,90
10		4.623,56	4.623,56	1.488,66	-5.774,23
11		4.900,98	4.900,98	1.408,91	-4.365,32
12		5.195,03	5.195,03	1.333,44	-3.031,89
13		5.506,74	5.506,74	1.262,00	-1.769,88
14		5.837,14	5.837,14	1.194,39	-575,49
15		6.187,37	6.187,37	1.130,41	554,92
16		6.558,61	6.558,61	1.069,85	1.624,77
17		6.952,13	6.952,13	1.012,54	2.637,31
18		7.369,26	7.369,26	958,29	3.595,60
19		7.811,41	7.811,41	906,96	4.502,56
20		8.280,10	8.280,10	858,37	5.360,93

em solo, revestido com geomembrana, com custo estimado em R\$ 25.359,46, admitindo-se a construção em 1 ano. Considera-se, como retorno, o valor de R\$ 2.900,88 por ano (referente à economia pelo não uso da alternativa de referência).

Nas análises, não estão sendo considerados os custos com implantação de sistema de bombeamento e tubulações, bem como de emissão de efluentes, haja vista que esses são custos comuns a todas as alternativas. Salienta-se, no entanto, que o custo de adução de água captação em manancial deve ser significativamente maior que o custo de adução em reservatórios instalados ao lado das instalações industriais.

As análises foram conduzidas considerando vidas úteis de 20 anos para as alternativas, sendo esse o período admitido nas análises financeiras de retorno de investimento. Admitiu-se ainda uma taxa de desconto hipotética de 12% a.a., que leva em conta os custos de oportunidade, inflação e risco e taxa de crescimento referente à geração de caixa igual a 6% a.a., condizente com a expectativa de aumento do custo pela cobrança do uso da água ao longo dos anos.

Das análises, foram obtidos os indicadores mostrados na Tabela 9.

Verifica-se que o uso da Alternativa 1 não é viável economicamente, quando comparada com a captação de água de recursos hídricos da região. Todavia, a Alternativa 2 mostra-se vantajosa, com VPLs positivos e *Payback* em 14 anos, conforme é demonstrado na Tabela 10. Cabe ainda lembrar que os custos referentes à adução e ao bombeamento de água a partir de manancial não foram considerados aqui.

A Tabela 10 apresenta os dados básicos da análise realizada para a Alternativa 2.

7 Conclusões

Conclui-se com este estudo que a demanda de água da indústria metalmeccânica em estudo pode ser suprida por meio do armazenamento e aproveitamento de uso de água de chuva, visto que o regime pluviométrico da região é suficiente, porém recomenda-se o apoio de outras fontes.

Este apoio faz-se necessário devido à inconstância das chuvas, pois, em períodos secos, o volume de água pluvial armazenada pode não ser suficiente devido a variações climáticas. Recomenda-se um sistema integrado entre a fonte de água utilizada atualmente

pela indústria e o armazenamento de água da chuva para se garantir um fornecimento constante.

O atendimento das necessidades para uso sanitário, irrigação e lavagem de pisos é simples, pois as características da água de chuva condizem com os padrões necessários para esses usos, não precisando de tratamento adicional.

O volume de chuva armazenado na indústria também pode suprir as necessidades da torre de resfriamento e lavagem de ferramentas, porém um acompanhamento da sua qualidade se faz necessário, considerando que podem existir variações na qualidade da água pluvial em determinadas épocas do ano.

Foi estimado que, com a cobrança pela captação e emissão da água, pode se pagar entorno de R\$ 7.246,8 por ano. Também se levantou que a instalação de um reservatório com capacidade de 1.000,00 m³ visa atender a um consumo diário de 26,86 m³.

O investimento em um sistema de armazenamento é viável economicamente, além do retorno que esta melhoria pode trazer, tanto em relação à questão ambiental como quanto ao aumento da garantia do fornecimento de água, visto que parte do abastecimento pode ser feito com água de chuva, principalmente em épocas de estiagens.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (1998). *NBR 5626: Instalações Prediais de Água Fria*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2007). *NBR 15527: Água de Chuva – Aproveitamento em áreas urbanas para fins não-potáveis – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Bezerra, S. M. C., Christan, P., Teixeira, C. A., & Farahbakhsh, K. (2010). Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. *Ambiente Construído*, 10(4), 219-231. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212010000400015>.
- Brasil. (1997, 9 de janeiro). *Lei n.º 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989*. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- Brasil. (2000, 17 de julho). *Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências*. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. (2005). *Resolução n.º 357/05. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional*. Brasília: SEMA.
- Campos, A. L., Primo, L. P., Correia, N. M., & Corrêa, S. M. (2007). Estudo para o aproveitamento da água da chuva em uma montadora de veículos. In *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte: ABES.
- Gikas, G. D., & Tsihrintzis, V. A. (2012). Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested Rainwater. *Journal of Hydrology*, 466-467, 115-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.020>.
- Gwenzi, W., Dunjana, N., Pisa, C., Tauro, T., & Nyamadzawo, G. (2015). Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: review and perspectives. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 107-118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.swaqa.2015.01.006>.
- Instituto das Águas do Paraná. (2007). *Sistema de Informações Hidrológicas*. Recuperado em 8 de agosto de 2007, de <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioDiasChuva.do?action=carregarInterfaceInicial>
- Machado, F. O., & Cordeiro, J. S. (2004). Aproveitamento das águas pluviais: uma proposta sustentável. In *Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. São Luís: ABRH.
- Mendez, C. B., Klenzendorf, J. B., Afshar, B. R., Simmons, M. T., Barrett, M. E., Kinney, K. A., & Kirisits, M. J. (2011). The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*, 45(5), 2049-2059. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.015>. PMID:21232781.
- Oenning, A. O. Jr., & Pawlowsky, U. (2007). Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 12(3), 305-316. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000300010>.
- Paraná. (2002, 26 de fevereiro). *Decreto Estadual n.º 5.361 de 26 de fevereiro de 2002. Regulamenta a cobrança pelo direito de uso de recursos hídricos*. Curitiba, PR: Diário Oficial do Estado.
- Paraná. Câmara Técnica de Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos – CTCOB. (2007, agosto). *Comitê das bacias do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira – Sudersha*. Curitiba: CTCOB.
- Scroccaro, J. L., & Machado, E. S. (2007). *Aspectos específicos e andamento no estado do paraná ks e kc unitário: Diretoria Operacional de Águas*. Curitiba: SUDERHSA.
- Tomaz, P. (2005). *Aproveitamento de água de chuva: aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis* (2 ed., 180 p). São Paulo: Editora Navegar.
- Van Metre, P. C., & Mahler, B. J. (2003). The contribution of particles washed from rooftops to contaminant loading to urban streams. *Chemosphere*, 52(10), 1727-1741. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00454-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00454-5). PMID:12871740.