IV-194 - ESTUDO DE VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA USOS NÃO POTÁVEIS EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO NO MUNICIPIO DE ITABIRA-MG

Débora Brito Neves[(1)]
Engenheira Ambiental pela Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis de Itabira (FACCI) / Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira.
Lidiane do Carmo Silva
Engenheira Ambiental pela Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis de Itabira (FACCI) / Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira.
Débora Lage Moura
Engenheira Ambiental pela Faculdade de Ciências Administrativas e Contábeis de Itabira (FACCI) / Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira.
Paulo de Castro Vieira
Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Endereço[(1)]**:** Avenida France de Paula Andrade, 76 – Vila Nações Unidas - Itabira – Minas Gerais - CEP: 35900-053 - Brasil - Tel: +55 (31) 8779-3432 - e-mail: **debora.neves@gmail.com.**

RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar as viabilidades técnica e econômica para a implantação de um sistema de aproveitamento de águas de chuva (SAAC) para usos não potáveis com baixos requisitos de implantação e manutenção em uma instituição de ensino superior no município de Itabira-MG. A partir dos dados pluviométricos da região, áreas de contribuição (telhados e coberturas) e demandas de água para limpeza de banheiros, laboratórios, salas de aula, setores administrativos, lavagem das áreas externas e irrigação de jardins foi dimensionado um sistema de aproveitamento de água de chuva composto pelas etapas de captação, condução, acumulação, recalque, tratamento e reservação. A relação entre os custos e os benefícios promovidos pelo sistema de aproveitamento de águas de chuva proposto, assim como o tempo de retorno de investimento foram utilizados para comparar com o sistema convencional de abastecimento de água na instituição. Os edifícios com potencial de aproveitamento de água de chuva apresentaram uma área de projeção de 4.585,69 m², representando aproximadamente 47% da área total do campus, que resultaria no volume anual aproximado de 6.730,51 m³ de água de chuva captada. Dentre as unidades propostas do sistema de aproveitamento de águas de chuva, os tanques de armazenamento de água captada foram os que apresentaram os maiores custos de implantação, representando o percentual aproximado de 39% do custo de implantação total para os tanques fabricados em alvenaria. Para estas condições o retorno aproximado do investimento do SAAC proposto seria de 1,3 anos, tomado como base o custo com operação e manutenção e a vida útil do projeto (anos). A implantação do SAAC proposto poderá proporcionar uma economia média mensal de 92% da água utilizada para os usos não potáveis e atender as demandas não potáveis estabelecidas em 9% no período seco e 95% no período chuvoso.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de água de chuva, usos não potáveis, viabilidades técnica e econômica.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a falta de água de boa qualidade é um dos grandes desafios do século XXI. Em algumas regiões do Brasil a água para o abastecimento tem sido transportada de regiões distantes, acarretando em altos custos de transporte, energia e degradação dos corpos d'água. Marinoski (2007) considera a má distribuição populacional em relação às reservas hídricas um fator preocupante, pois as regiões mais populosas são as que possuem menor disponibilidade deste recurso. Sendo assim, a adoção de novas tecnologias como o aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis, torna-se uma medida para diminuir a escassez e o desperdício de água potável.

Tal técnica mostra-se muito comum em países da Europa, Ásia, Oceania e América do norte para fins comerciais, industriais, residenciais e irrigação de lavoura. Embora ainda pouco empregada no Brasil, tem sido utilizada nas regiões do semiárido que não dispõe de alternativas suficientes para o atendimento aos consumos mais nobres da população (PHILIPPI *et al.*, 2006).

De modo geral, a água de chuva não é considerada de boa qualidade por apresentar alguns poluentes. Deste modo, recomenda-se que seu aproveitamento seja empregado em usos não potáveis como a utilização em descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardins, lavagem de áreas impermeabilizadas e veículos, limpeza de pisos e em processos industriais. Segundo Silva *et al.* (2012), a utilização de água de chuva para estes fins apresenta-se viável quando esta proporciona a economia de água potável para o consumo humano direto.

Para se aproveitar água de chuva são necessários estudos acerca das viabilidades técnica e econômica do sistema proposto, bem como observar as adequações das instalações prediais, o atendimento e determinação das demandas, as características locais, o dimensionamento dos reservatórios e sistema hidráulico e os possíveis riscos sanitários com sua utilização.

De acordo com Cohim *et al.* (2007) a utilização dos sistemas de aproveitamento deve ter estudos relacionados à viabilidade e eficiência no atendimento dos usos previstos, observando as características locais com o propósito de evitar que a implantação do projeto seja inadequada e implique nos fatores positivos deste recurso.

Neste sentido, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar as viabilidades técnica e econômica de um sistema de aproveitamento de águas de chuva para usos não potáveis com baixos requisitos de implantação e manutenção, comparado ao sistema convencional de abastecimento de água para atender as demandas não potáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Sistema de aproveitamento de águas de chuva (SAAC) proposto

O trabalho foi desenvolvido entre agosto/2011 a julho/2012 em uma instituição de ensino superior no município de Itabira-MG. As edificações estão localizadas em um terreno de aproximadamente 17.000 m², distribuídos em 07 (sete) prédios que abrigam banheiros, laboratórios, salas de aula, sala de professores, setores administrativo, financeiro, secretaria acadêmica, coordenações de cursos e diretorias, centro de vivência, papelaria, estacionamento privativo, guaritas e agência bancária.

O regime pluviométrico da região é caracterizado como tropical, com chuvas de verão e inverno seco com média anual de 1.300 mm (em média 120 dias de chuva no ano) concentrada nos meses de outubro a março onde ocorre cerca de 87% da média anual e o período seco nos meses de abril a setembro com menor índice no mês de agosto (10 mm) (SAAE/IRA, 2005).

Com o intuito de propor um sistema de aproveitamento de águas de chuva (SAAC) estimando-se o aproveitamento máximo das áreas de contribuição (telhados e coberturas), foi dimensionado um sistema com base nas recomendações apresentadas na literatura (ABNT NBR 15.527, 2007; ABNT NBR 10.844, 1989; Azevedo Netto, 2009; Baptista & Coelho, 2006; PHILLIP *et al.*, 2006; TOMAZ, 2011) adaptado em função das condições prediais do campus.

As unidades do SAAC proposto são constituídas pelas áreas de contribuição (telhados e coberturas das edificações), canaletas e tubos coletores, grelhas, caixa de passagem, reservatório de acumulação e armazenamento (distribuição), filtros de carvão nas linhas de recalque (entre os reservatórios de acumulação e armazenamento) seguido pela etapa de desinfecção, conforme recomendações de Silva *et al.* (2012). No entanto, observa-se que para o sistema em questão não foram considerados dispositivos de retenção nas tubulações coletoras, como pré-filtros e semelhantes, devido aos riscos de entupimentos e por dificultar a operação do sistema.

Áreas de contribuição

A caracterização da área de estudo, foi realizada com o auxílio de funcionários da instituição, plantas arquitetônicas e verificação *in loco*. Este levantamento se fez necessário para identificar as áreas de contribuição (telhados e coberturas) com alto potencial de aproveitamento e estimar o volume dos reservatórios de acumulação.

Para o cálculo das áreas de contribuição (telhados e coberturas) utilizou-se o parcelamento das áreas e as recomendações apresentadas na ABNT NBR 10.844/1989. Observa-se que a estrutura das áreas de contribuição dos prédios 1 (verde), 2 (vermelho), 3 (amarelo), 4 (azul) e biblioteca é composta de uma água acoplada a calhas de platibanda e a estrutura do centro de vivência é composta por duas águas acopladas a calhas de beiral, no qual o volume captado é dividido e escoado por condutores verticais de diâmetro nominal (DN) igual a 150 mm, interligados a um condutor horizontal de DN 200 mm direcionados a caixas de passagem e rede de drenagem pluvial urbana.

A vazão de água captada foi determinada pela equação do método racional, recomendada para pequenas áreas de contribuição, adotando-se um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,9. Quanto à intensidade máxima média (i_m) a ser considerada para a aplicação do método foram observadas precipitações com duração de 5 a 60 minutos (com intervalos de 5 minutos), nos períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25 e 50 anos. Na Tabela 1 são apresentadas as intensidades máximas médias de precipitação (i_m) para o município de Itabira-MG, em função da intensidade, duração e frequência da localidade de interesse.

Tabela 1: Valores de intensidade máxima média de precipitação para o município de Itabira-MG

T(anos)	t_c (min.)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	115,5	99,6	87,8	78,8	71,6	65,7	60,8	56,7	53,1	50,0	47,3	44,9
5	154,6	133,2	117,5	105,4	95,8	87,9	81,4	75,8	71,1	66,9	63,3	60,0
10	175,2	151,0	133,2	119,5	108,6	99,7	92,3	86,0	80,6	75,9	71,7	68,1
15	188,6	162,5	143,4	128,6	116,9	107,3	99,3	92,5	86,7	81,6	77,2	73,3
20	198,7	171,2	151,0	135,5	123,1	113,0	104,6	97,5	91,3	86,0	81,3	77,2
25	206,9	178,3	157,2	141,1	128,2	117,7	108,9	101,5	95,1	89,5	84,7	80,4
50	234,5	202,1	178,3	159,9	145,3	133,4	123,5	115,0	107,8	101,5	96,0	91,1

Nota: T_r = período de retorno; t_c = tempo de concentração. Elaborado a partir dos parâmetros de ajuste relativo para o município de Itabira-MG, por meio do *software* Plúvio 2.1 – Chuvas Intensas para o Brasil.

Os valores extremos de intensidade máxima média de precipitação (i_m) para cada duração apresentou valores decrescentes com o aumento do tempo de concentração (t_c). Esta tendência demonstra que as séries históricas correspondem à duração e ao período de retorno a que foram submetidas e que quanto maior a duração da precipitação menor sua intensidade.

Os valores de i_m para o município de Itabira-MG (Tabela 1) durante a precipitação de 5 (cinco) minutos com período de retorno de 5 (cinco) anos e precipitação de 10 (dez) minutos com período de retorno de 10 (dez) anos não apresentou variação significativa. Deste modo, foi considerado precipitações intensas com período de retorno de 10 (dez) anos e duração de 10 (dez) minutos, por conferir maior segurança e economia para o sistema proposto.

Conforme descrito anteriormente, as áreas de contribuição já possuem calhas, caixas de passagem e redes de condutores (horizontais e verticais) que podem ser reaproveitadas no SAAC proposto. Desta forma, foi verificado se as vazões de projeto atendem aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 10.844/1989.

Previsão de consumo

As estimativas de consumo para os usos não potáveis na instituição de ensino foram determinadas por meio do levantamento das demandas para limpeza de banheiros, laboratórios, salas de aula e setores administrativos e lavagem de corredores, pátios e pilotis e irrigação de jardins.

Para realizar as estimativas de consumo de água fez-se o levantamento dos ambientes que compõem as edificações, frequência e tempo utilizados. As faixas de consumo foram estabelecidas conforme critérios apresentados em Phillip *et al.* (2006) e adaptados em função das variáveis locais (características das áreas impermeabilizadas).

Posteriormente, para ajustar a diferença entre as médias de consumo obtidas e as médias de consumo fornecidas pela concessionária local (SAAE Itabira), aplicou-se uma análise de sensibilidade com variações de +15% a -15% em intervalos de 5% sobre a vazão da demanda estimada, de modo que se atribua ao consumo

mensal estimado um ajuste para os períodos de maior consumo, definindo-se o volume médio mensal de água potável para os usos não potáveis.

Reservatórios de acumulação e armazenamento

Os reservatórios do SAAC proposto foram compostos por 03 (três) reservatórios de acumulação (inferior) com a finalidade de reunir as águas de chuva coletadas pelas áreas de contribuição (telhados e coberturas das edificações) e 01 (um) reservatório de armazenamento ou distribuição (superior) alimentado por um sistema de bombeamento, instalado em um ponto mais alto do campus para que a distribuição ocorra pela carga hidráulica disponível. Os reservatórios de acumulação (inferior) que integram a proposta técnica foram dimensionados em função da disponibilidade de área e demanda estimada. Estes possuíram sistema *bypass* acoplado a galeria pluvial, para situações em que os reservatórios não comportem o volume de água captado.

Para o cálculo dos reservatórios de acumulação (inferior) foi empregado à metodologia de *Rippl* apresentada por Tomaz (2011) para demanda constante e chuvas mensais. Os dados necessários à aplicação do método foram às áreas de contribuição (telhados e cobertura), demanda mensal estimada para os usos não potáveis e precipitação pluviométrica local dos anos de 1931 a1961 do município de Itabira-MG. A utilização desta série para o estudo em questão se justifica, por apresentar uma média anual pluviométrica próxima à estabelecida pelo Instituto de Geociências Aplicadas.

Não foi adotado para o SAAC proposto o dispositivo de descarte dos primeiros milímetros de chuva. Acredita-se que a adoção das caixas de passagem e reservatórios de acumulação proporcione a sedimentação de partículas com características semelhantes a areia presentes nas águas de chuva coletadas, uma vez que o volume de descarte seria bem sedimentado em função do volume total acumulado melhorando sua qualidade em termos físicos para a finalidade requerida.

O sistema de recalque foi projetado com três conjuntos motobomba para o bombeamento das águas de chuva coletadas nos reservatórios de acumulação (inferiores) para o reservatório de armazenamento (distribuição). Segundo a ABNT NBR 15.527/2007 quando necessário o bombeamento, este deve atender a ABNT NBR 12.214/1992, bem como observar as tubulações de recalque e sucção, velocidade mínima de sucção e seleção do conjunto motobomba. Para determinar o cálculo da vazão horária que cada conjunto precisa recalcar e para o cálculo da potência do motor foi empregada à metodologia proposta por Azevedo Netto (2009).

O volume do reservatório de armazenamento (distribuição) foi determinado com base na quantidade de água estimada para o consumo diário com os usos não potáveis na instituição e em função das áreas disponíveis.

O SAAC proposto considerou as principais coberturas para o aproveitamento das águas de chuva escoadas pelas áreas de contribuição (telhados e coberturas), representadas pelos telhados dos prédios 1, 2, 3, 4, biblioteca e centro de vivência, conforme Figura 1.

Figura 1: Layout do sistema de aproveitamento de águas de chuva proposto.

Para a etapa de tratamento, foi adotada a metodologia proposta por Silva *et al.* (2012) para fins de limpeza e/ou lavagem de pisos e irrigação de jardins. O tratamento indicado pelos autores é composto pela etapa de sedimentação (conduzida nos reservatórios de acumulação), filtração simples e desinfecção direta (reservatório de distribuição).

Custos de implantação e manutenção

Os custos de implantação e manutenção de um sistema de aproveitamento de águas de chuva devem ser determinados após o dimensionamento de todos os componentes sugeridos. Para a composição dos custos do SAAC proposto foi realizada uma estimativa no mercado local para reservatórios de fibra de vidro, concreto armado e alvenaria (tipo cisternas de ferro cimento), bem como os custos com mão de obra dos profissionais especializados e o processo de tratamento (filtração e desinfecção) comparando-os aos custos atuais com água potável fornecida pela concessionária local (SAAE Itabira) para o atendimento as demandas de água na instituição de ensino.

Para estimar os custos com energia utilizada para o funcionamento do sistema de recalque, foram empregados as informações referentes aos conjuntos motobombas adotados e os valores cobrados pela concessionária local (CEMIG).

Economia de água potável

O potencial mensal de economia de água potável (%) foi determinado conforme metodologia proposta por Lima *et al.* (2011), no qual se divide o volume mensal de água de chuva que poderá ser coletado (m^3/mês) pelo consumo mensal de água potável (m^3/mês) .

Posteriormente, foi verificada a redução de custos com água potável após o uso de água de chuva, conforme metodologia proposta por Marinoski; Ghisi (2008). Este cálculo foi estabelecido através da diferença entre o custo atual de água potável/mês e o custo/mês após a adoção do sistema de aproveitamento, na qual a diferença encontrada representa a economia em reais (R$) referente ao novo consumo de água.

De posse dos custos de implantação e manutenção, foi determinada a relação beneficio/custo para verificar a viabilidade econômica do SAAC proposto. Tendo em vista a relação beneficio/custo, foi calculado o período de retorno do investimento conforme metodologia proposta por Phillip *et al.* (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Áreas de contribuição

As vazões geradas pela drenagem das águas de chuva coletadas pelas áreas de contribuição do campus são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Vazões máximas de precipitação geradas nas áreas de contribuição.

Área de contribuição	Tipo de superfície	Característica da superfície	A_{total} (m^2)	C	T (anos)	t_c (min.)	I_m (mm/h)	$P_{média}$ anual (mm)	V_{total} (m^3)
Prédio 1	Plana horizontal	Telha pré-moldada de concreto	705,26	0,9	10	10	151	1.494,60	1.035,12
Prédio 2	Plana horizontal	Telha pré-moldada de concreto	705,26	0,9	10	10	151	1.494,60	1.035,12
Prédio 3	Plana horizontal	Telha pré-moldada de concreto	740,28	0,9	10	10	151	1.494,60	1.086,52
Prédio 4	Plana horizontal	Telha pré-moldada de concreto	731,76	0,9	10	10	151	1.494,60	1.074,02
Centro de vivência	Plana inclinada	Cobertura em alumínio	521,65	0,9	10	10	151	1.494,60	765,64
Prédio Biblioteca	Plana horizontal	Telha pré-moldada de concreto	1.181,48	0,9	10	10	151	1.494,60	1.734,09
Total	-	-	**4.585,69**	-	-	-	-	**1.494,60**	**6.730,51**

Nota: A_{total} = área total; C = Coeficiente de *runnof;* T = tempo de retorno; t_c = tempo de concentração; I_m = intensidade máxima média de precipitação; $P_{média}$ = precipitação média anual (1931-1960); V = volume anual de água de chuva aproveitável pelas áreas de contribuição.

As áreas de contribuição apresentaram uma área de projeção total de 4.585,69 m², com um volume anual aproveitável de 6.730,51 m³, aproximadamente 561 m³/mês determinados em função das áreas de contribuição (telhados e coberturas), coeficiente *runnof* e da série de precipitação média adotada (1931-1960).

Previsão de consumo

Para a previsão de consumo dos usos não potáveis, considerou-se como demanda interna a limpeza de banheiros, laboratórios, salas de aula e setores administrativos. E como demanda externa a lavagem das áreas externas e irrigação de jardins. Na Tabela 3 é apresentada a demanda mensal estimada para os usos não potáveis na instituição.

Tabela 3: Resumo das estimativas de consumo interno e externo para usos não potáveis por edificação.

Edificação	Usos	Demanda mensal (m^3)
Prédio 1 (Banheiros, laboratórios, salas de aula e secretária acadêmica)	Lavagem área externa	11,50
	Limpeza interna	39,24
Prédio 2 (Banheiros, laboratórios, papelaria, salas de aula e sala de professores)	Lavagem área externa	11,82
	Limpeza interna	35,35
Prédio 3 (Banheiros, laboratório, salas de aula e agência bancária)	Lavagem área externa	14,66
	Limpeza interna	38,66
Prédio 4 (Banheiros, auditório, salas de aula, coordenações de curso, estágio e trabalho de conclusão de curso)	Lavagem área externa	19,86
	Limpeza interna	49,76
Prédio Biblioteca [(1)]	Lavagem área externa	21,97
	Limpeza interna de banheiros	16,67
Jardins[(1)]	Irrigação	217,30
Centro de Vivência	Lavagem área externa	20,80
	Limpeza interna	20,94
Outros pontos de consumo[(2)]	Lavagem área externa	31,85
	Limpeza interna	22,89
Variáveis de consumo/margem de segurança [(3)]	-	22,90
Total	**-**	**596,17**

Nota: [(1)] Demanda reduzida no período chuvoso; [(2)] Demanda referente às edificações do prédio Areão, Areinho; [(3)] Variáveis de consumo/ margem de segurança 5% (por uso).

As demandas não potáveis estimadas resultaram em aproximadamente 596 m³/mês no período seco. Sendo, aproximadamente 246 m³/mês para limpeza de banheiros, laboratórios, salas de aula e setores administrativos e 327 m³/mês para lavagem de corredores, pátios e pilotis e irrigação de jardins. Devido ao aumento de consumo nos meses maio e junho adotou-se uma margem de segurança de 5% conforme análise de sensibilidade, de forma que assegure as variações de demanda durante os períodos de maior consumo, bem como eventuais erros durante a estimativa dos usos não potáveis.

Atualmente, para fins de abastecimento a instituição adquire toda água potável da concessionária de saneamento local (SAAE Itabira). Acredita-se que a utilização de água potável para usos não potáveis não seja a mais adequada devido as questões associadas à preservação e utilização racional desse recurso natural. Dessa forma a utilização de fontes alternativas como a dos sistemas de aproveitamento de água de chuva é uma opção para se diminuir o risco de escassez da água, além de minimizar o risco de enchentes e promover a economia de água potável. Para a comparação do consumo real com o consumo estimado (usos não potáveis), foram levantadas as médias de consumo e os custos com a compra de água potável para os anos de 2010 e 2011.

A instituição apresentou em seu quadro até o 1°/2012, 1.806 alunos (graduação e pós-graduação), 114 professores (especialistas, mestres e doutores), 296 funcionários particulares e 16 funcionários terceirizados, com uma taxa per capta de 8,65 L/hab.dia para atender toda a demanda de água do campus, sendo o consumo de água tratada para fins não potáveis superior a 50%. Essa taxa foi determinada através do quociente entre o consumo diário de água consumida e a população (alunos, funcionários e professores) da instituição de ensino e, permitiu conhecer a aproximação real do valor consumido pela instituição no período analisado.

Na Figura 2 é apresentado o levantamento do consumo e custos de água potável na instituição nos anos de 2010 e 2011.

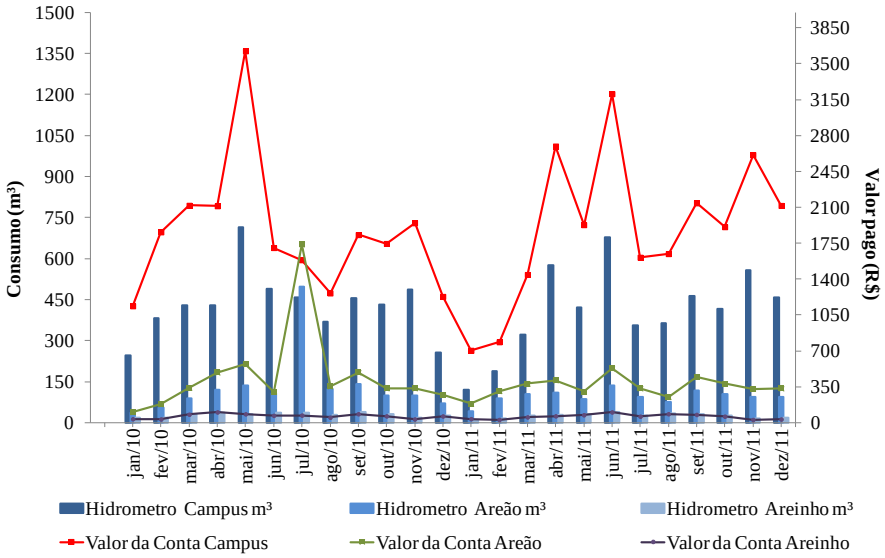

Figura 2: Variação de consumo e custos de água potável no campus entre os anos de 2010 e 2011.

Para o período analisado observa-se uma média de consumo de água potável para os anos de 2010 e 2011 de 560 m³/mês com um custo médio R$ 2.341,00/mês. Os meses de maior consumo correspondem ao período seco (abril a setembro), sendo maio e junho os meses de maior consumo, com um consumo médio de 726 m³.

Reservatórios de acumulação e armazenamento

Os reservatórios de acumulação que integram o SAAC proposto foram dimensionados em função da disponibilidade de área e para suprir a demanda estimada. O reservatório 1 corresponde as demandas estimadas e áreas de contribuição dos prédios 1, 2 e 3 parcialmente (por apresentar sistema de drenagem com fluxo opostos). Na Figura 3 é apresentado o volume calculado para o reservatório 1, observa-se que os valores são obtidos através de paralelas traçadas pelo ponto mais alto e pelo ponto mais baixo sobre a demanda estimada.

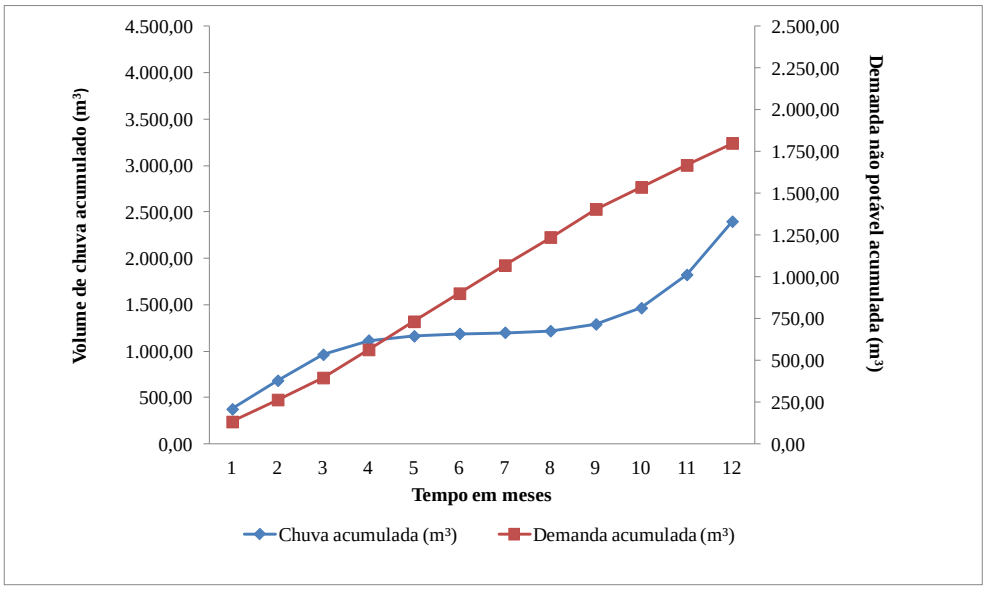

Figura 3: Diagrama de *Rippl* para demanda variável do reservatório de armazenamento 1.

Os valores médios encontrados apontam um volume máximo do reservatório de aproximadamente 596 m³ durante os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro e um volume mínimo de 131 m³ durante os meses de maio a setembro. Desta forma, deve ser adotado um reservatório com um volume de aproximadamente 465 m³, sendo adotado um volume de 467 m³ em função de algum evento extremo.

O reservatório 2 corresponde as demandas estimadas e áreas de contribuição dos prédios 3 (por apresentar sistema de drenagem com fluxo opostos), 4 e centro de vivência. Na Figura 4, é apresentado o volume calculado para o reservatório 2, baseando-se no mesmo critério do reservatório anterior.

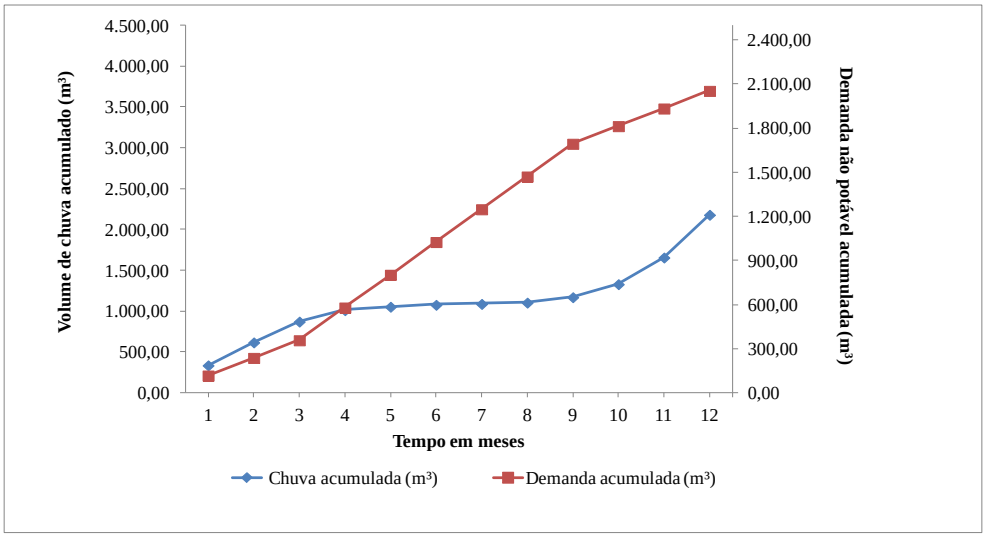

Figura 4: Diagrama de *Rippl* para demanda variável do reservatório de armazenamento 2.

Com base nos resultados obtidos, o volume máximo do reservatório é de aproximadamente 517 m³ e o volume mínimo de 54 m³. Desta forma, foi adotado um reservatório com um volume de aproximadamente 463 m³, sendo adotado um volume de 465 m³ (evento extremo). Observa-se um volume inferior captado entre os meses de maio a setembro e um volume superior entre os meses de janeiro a março e outubro a dezembro.

O reservatório de armazenamento 3, foi projetado para atender as demandas estimadas dos prédios do Areão, Areinho e biblioteca, utilizando-se a área de contribuição do prédio da biblioteca. Na Figura 5, é apresentado o volume calculado para o reservatório 3, baseando-se no mesmo critério do reservatório anterior.

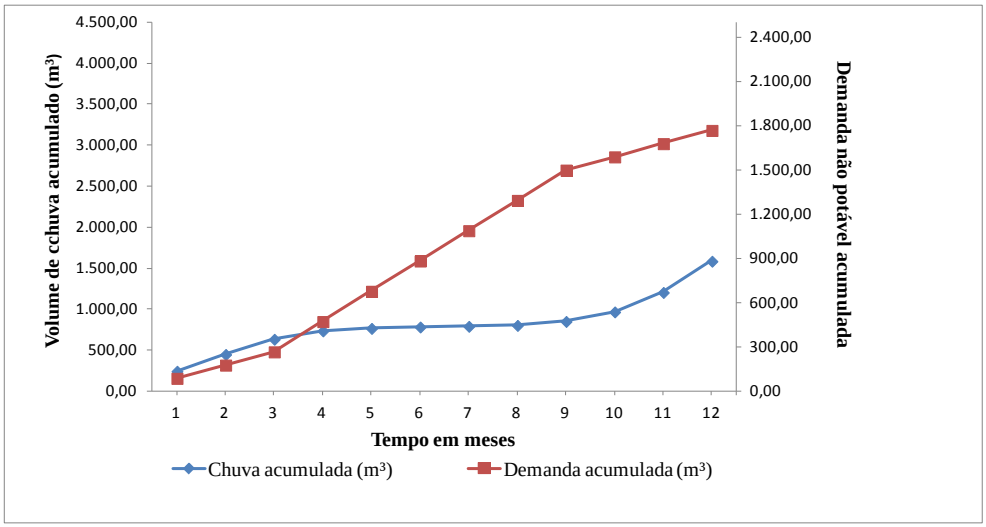

Figura 5: Diagrama de *Rippl* para demanda variável do reservatório de armazenamento 3.

Para o reservatório de armazenamento 3, é possível observar um volume máximo de aproximadamente 369 m³ e um volume mínimo de aproximadamente 90,78 m³, sendo o volume final aproximado igual a 278 m³, sendo adotado o volume de 280 m³.

Considerando a demanda mensal de aproximadamente 596 m³ e funcionamento de 26 dias no mês, a demanda diária para atender as necessidades do campus nos períodos de maior consumo, é de aproximadamente 23 m³/dia. Assim sendo, foi adotado um reservatório de acumulação (superior) de 30 m³, instalado em um ponto mais alto do campus para que a distribuição ocorra por gravidade.

O sistema de recalque tem a função de conduzir as águas de chuva dos reservatórios de acumulação para o reservatório de armazenamento. Observa-se que o dimensionamento das linhas de recalque foi calculado para bombas com funcionamento descontinuo. Na Tabela 4 é apresentado o dimensionamento das linhas de recalque.

Tabela 4: Dimensionamento linhas de recalque reservatórios de acumulação.

Reservatório de acumulação	$Q_{recalque}$ (m³/s)	$D_{recalque}$ (")	$D_{sucção}$ (")
Reservatório de acumulação 1	0,00180	2	2.1/2
Reservatório de acumulação 2	0,00238	2.1/2	3
Reservatório de acumulação 3	0,00219	2	2.1/2

Nota: $Q_{recalque}$ = Vazão de recalque (m³/s); $D_{recalque}$ = diâmetro de recalque ("); $D_{sucção}$ = diâmetro de sucção (").

Os resultados encontrados para o dimensionamento das linhas de recalque indicam uma vazão de recalque média de 0,00212 m³/s ou aproximadamente 2,0 L/s por reservatório de acumulação. Os diâmetros das tubulações de recalque variam conforme a vazão recalcada por conjunto motobomba, sendo o diâmetro da tubulação de sucção superior à tubulação de recalque.

Observa-se que o sistema proposto possui 03 (três) reservatórios de acumulação com 1 (um) conjunto motor bomba cada e, considerando a demanda diária de aproximadamente 23 m³/dia durante o período seco será recalcado um volume médio de 7,64 m³/dia por conjunto com operação simultânea e capacidade horária de 1 (uma) hora/dia.

Baseando-se na vazão a ser recalcada por dia, foi calculada a potência necessária à adoção dos conjuntos motobomba. Para o cálculo das perdas de carga foram tomadas como referências as tabelas de comprimentos equivalentes para conexões de recalque e, as plantas baixas do campus para o cálculo do comprimento das tubulações, ressalta-se que foi empregado um acréscimo de 20% na potência dos motores e um rendimento de 70%. Na Tabela 5, é apresentada a potência necessária para os conjuntos motobombas do sistema proposto.

Tabela 5: Conjunto motobomba

Res. acum.	Q (m³/s)	H_s (m)	H_r (m)	H_{fr} (m)	H_{fs} (m)	H_{man} (m)	P_{motor} (cv)
Res. acum. 1	0,00180	4,7	13,4	9,59	10,55	38,24	1,6
Res. acum. 2	0,00238	4,7	13,15	11,20	19,87	48,92	2,6
Res. acum. 3	0,00219	4,7	5,50	9,67	19,94	29,35	1,5

Nota: Res. acum. = reservatório de acumulação; Q = vazão (m³/s); H_s = altura de sucção (m); H_r = altura de recalque (m); h_{fr} = perda de carga na canalização de recalque (m); h_{rs} = perda de carga na canalização de sucção (m); H_{man} = altura manométrica (m); P_{motor} = Potência conjunto motobomba (cv).

A potência final do conjunto motobomba para o reservatório 1 e 2, não corresponde as potências comerciais. Portanto, recomenda-se a adoção de conjuntos motobomba de 1.1/2 de HP para o reservatório de acumulação 1 e 3 e de 1/3 de HP para o reservatório de acumulação 2.

Custos de implantação e manutenção

Para o estudo de viabilidade econômica, foi necessário estimar os custos inerentes à implantação e manutenção do SAAC proposto, ou seja, custos com materiais, equipamentos, mão de obra, energia elétrica, filtração e cloração. Na Tabela 6 é apresentada uma análise comparativa dos custos estimados conforme mercado local.

Tabela 6: Tabela comparativa de custos de reservatórios de acumulação e distribuição e custo de operação e manutenção

Descrição	Preço total (R$)	Descrição	Preço total (R$)	Descrição	Preço total (R$)
Reserv. de acumulação fibra de vidro	1.755.500,00	Reserv. de acumulação concreto armado	253.932,00	Reserv. de acumulação alvenaria	40.171,87
Inst. reserv. de acumulação	105.514,07	Inst. reserv. de acumulação	19.245,30	Inst. reserv. de acumulação	19.245,30
Disp. sist. de drenagem	15.665,47	Disp. do sist. de drenagem	15.665,47	Disp. sist. de drenagem	15.665,47
Sistema de recalque	12.706,26	Sistema de recalque	12.706,26	Sistema de recalque	12.706,26
Manutenção anual	113.363,15	Manutenção anual	18.092,94	Manutenção anual	5.281,73
Custo contingencial (10%)	188.938,58	Custo contingencial (10%)	30.154,90	Custo contingencial (10%)	8.802,89
Total	**2.191.687,53**	**Total**	**349.796,88**	**Total**	**102.113,53**

Nota: Reserv. de acumulação = reservatórios de acumulação; Inst. reserv. de acumulação = instalação reservatórios de acumulação; Disp. do sist. de drenagem = dispositivos do sistema de drenagem; SCAC = sistema de captação de água de chuva.

Com base na estimativa realizada, observa-se que a representatividade dos reservatórios de fibra de vidro e concreto armado variam pouco sobre os custos total de implantação (80,1% e 72,6%, respectivamente). Sendo, a adoção de reservatórios de alvenaria (cisternas de ferro cimento) o mais indicado, representando apenas 39,3% do custo total de implantação.

Os custos de operação do sistema de aproveitamento correspondem aos custos com energia elétrica. Por meio de informações obtidas na concessionária local (CEMIG S/A), verificou-se que a instituição de ensino está classificada na categoria demais classes, cujo valor cobrado é de R$ 0,3683 por kWh. Neste cotexto, o consumo de energia elétrica do SAAC proposto origina um custo mensal de R$ 38,76, totalizando em média R$ 465,15 por ano, considerando-se o consumo médio de 1,5 kWh/dia (com funcionamento 1 hora/dia) durante 26 (vinte e seis) dias no mês.

Economia de água potável

Tendo em vista a economia de água potável gerada pelo SAAC proposto, determinou-se o potencial de economia gerado pelo uso da água de chuva. Na Tabela 7 é apresentado o potencial médio de economia de água potável com a utilização de água de chuva para os anos de 2010 e 2011.

Tabela 7: Potencial de economia de água de potável.

Valores	Ano	Precipitação (mm)	A.Contrib.$_{total}$ (m²)	C	V_{AC}. (m³/mês)	$C_{médio}$ (m³/mês)	Pot. Economia (%)
Mínimo		7,70			31,78	300	10,59
Médio	1	24,55	4.585,69	0,9	514,03	589	87,25
Máximo		358,10			1.477,92	992	148,98
Mínimo		7,70			31,78	169	18,80
Médio	2	24,55	4.585,69	0,9	514,03	530	96,94
Máximo		358,10			1.477,92	852	173,47

Nota: A.Contrib.$_{total}$ = área de contribuição total (m²); C = coeficiente de *runoff*; V_{AC} = volume médio aproveitável (m³/mês); $C_{médio}$ = consumo médio mensal de água potável (m³/mês); Pot. Economia = potencial de economia (%).

Durante o período avaliado, a média de consumo de água potável esta entre 589 e 852 m³/mês. O potencial de economia para o ano 1 (um) varia aproximadamente de 10% a 148% e, para o ano 2 (dois) de 18% a 173%, sendo seu potencial médio de 91,8% nos últimos 2 anos. Para Maia *et al.* (2009) a elevada taxa encontrada, indica o potencial de economia que os sistemas de aproveitamento de água de chuva podem proporcionar se instalados.

Os resultados apresentaram um percentual significativo para o SAAC proposto, desta forma, foi calculada a redução nos custos de água potável, considerando o custo com energia elétrica (Equação 1).

$$\mathbf{E = CM_{potável\ 1} - CM_{potável\ 2} - CM_{energia\ elétrica}} \qquad \text{(Equação 1)}$$

E = 2.341,21 – 1.887, 53 – 38,76 = 414,92

Sendo que,

E = economia monetária de água potável após o uso de água de chuva (R$/mês);

$CM_{potável\ 1}$ = é o custo médio mensal de água potável antes da implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva (R$/mês);

$CM_{potável\ 2}$ = é o custo médio mensal de água potável após da implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva (R$/mês);

$CM_{energia\ elétrica}$ = é o custo mensal da energia elétrica para o funcionamento do sistema de bombeamento de água pluvial (R$).

Da análise dos valores obtidos, observa-se após adoção do sistema proposto um custo médio mensal de água potável de R$ 1.887,53 mês, o que resulta em uma economia mensal de R$ 414,92 considerando os custos com energia elétrica.

Com os reajustes de tarifas da concessionária local (SAAE Itabira) o custo médio do m^3 de água e esgoto consumido para o setor público passará de R$ 3,87 para R$ 2,85. Portanto, destaca-se que os custos com água potável serão em função do consumo final e não por faixas de enquadramento. Com base nos novos reajustes de tarifa e a vida útil habitual do sistema adotado (20 anos), foi realizada a relação beneficio/custo.

Tendo em vista a economia anual de água potável gerada e o custo de implantação do SAAC proposto com os reservatórios de alvenaria (tipo cisternas de ferro cimento), a relação beneficio/custo foi de 3,5, ou seja, apresenta-se maior que 1, logo a implantação do sistema apresenta-se economicamente viável, pois indica que os benefícios ultrapassam os custos. Sendo, o período de retorno do investimento determinado pelo método de valor presente (P) igual a 1,31 anos, o que corresponde a cerca de 1 ano e 4 meses.

Com base nos resultados apresentados, estabeleceu-se a eficiência do SAAC proposto. Na Tabela 8, é apresentada a eficiência de atendimento do sistema conforme as áreas de contribuição e demanda estimada.

Tabela 8: Eficiência do sistema de aproveitamento por reservatório.

Res. armaz.	Precip.$_{méd}$ (mm/mês)	C	A.contrib.$_{total}$ (m^2)	Q_{AC}.médio (m^3/mês)	Q_{np} média (m^3/mês)	$V_{reservatório}$ (m^3)	$E_{média}$ (%)
Res. acum. 1			1.780,66	164,19	149,95	465	112,04
Res. acum. 2	102,45	0,9	1.623,55	149,70	171,34	463	97,95
Res. acum. 3			1.181,48	108,49	147,42	278	89,61

Nota: Res. acum. = reservatório de acumulação; Precip. média = precipitação média mensal (mm/mês); C = coeficiente de *runoff;* A.contrib.$_{total}$ = área de contribuição total; Q_{AC} = volume médio aproveitável (m^3/mês); Q_{np} média = demanda não potável média mensal (m^3/mês); $E_{média}$ = eficiência média do sistema de aproveitamento de água de chuva (%).

O volume médio mensal obtido com o cálculo das demandas não potáveis varia entre 147,42 a 171,34 m^3/mês, considerando o volume médio aproveitável entre 108,49 a 164,19 m^3/mês, um C igual a 0,9 e precipitação média de 102,45 mm/mês verifica-se uma eficiência média nos reservatórios do SAAC proposto de 9% para o período seco e 95% para o período chuvoso.

CONCLUSÕES

Com a conclusão das etapas de captação, condução, acumulação, recalque e reservação, conclui-se a viabilidade técnica do sistema proposto uma vez que atende aos requisitos da ABNT NBR 15.527/2007 para o aproveitamento de águas de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas e, por apresentar um volume aproveitável de grandes proporções em função das áreas de contribuição (telhados e coberturas), disponibilidade pluviométrica e duração da precipitação. E, com a conclusão da análise dos custos de implantação e manutenção, economia proporcionada, relação beneficio/custo e tempo de retorno de investimento conclui-se sua viabilidade econômica, tendo em vista o potencial médio de economia de 91,8%, o baixo retorno de investimento, bem como a eficiência média de 95% para o período chuvoso.

O dimensionamento dos reservatórios de armazenamento (inferior) pelo método analítico de *Rippl* determinou um volume de reservatórios de 465, 463 e 280 m^3. Sendo, 30 m^3 o volume do reservatório de acumulação (superior), volume este suficiente para armazenar a demanda diária de água consumida para fins não potáveis

nos períodos de maior consumo. Neste sentido, a adoção de reservatórios com grandes capacidades de acumulação apresenta-se viável, sendo o reservatório de alvenaria (tipo cisterna de ferro cimento) o mais indicado, com um custo total de implantação e manutenção de R$ 102.113,53, com retorno de investimento de aproximadamente 1 (um) ano e 4 meses baseando-se no novo reajuste tarifário da concessionária local.

Contudo, verificou-se que a partir dos critérios adotados em função das condições estruturais das edificações prédios na instituição de ensino, o SAAC proposto possibilita a implantação de um sistema de aproveitamento com baixos requisitos de implantação e manutenção, apresentando eficiência no uso de água de chuva para fins não potáveis.

De modo geral, destaca-se o valor ambiental gerado com o aproveitamento de águas de chuva para a demanda estimada, pois garante aos sistemas de aproveitamento um caráter autossuficiente, visto que o SAAC proposto atende a demanda estimada com alto potencial de economia de água potável, ocasionando benefícios ambientais imediatos por contribuir com a preservação dos recursos hídricos da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.844: instalações prediais de águas pluviais: procedimentos. Rio de Janeiro, 1989.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.214:projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público: requisitos. Rio de Janeiro, 1992.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.527: água de chuva: aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
4. AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. Manual de hidráulica. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2009. 669 p.
5. BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. Fundamentos de engenharia hidráulica. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 437 p.
6. COHIM, Eduardo *et al.* Captação de água de chuva no meio urbano para usos não potáveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. Anais... . Belo Horizonte. Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2007. p. 1 - 9.
7. LIMA, Jeferson Alberto de *et al.* Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, n. 3, p. 291-298, jul/set 2011. Trimestral.
8. MAIA, Adelena Gonçalves *et al.* Avaliação da economia de água potável com a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva: estudo de caso no município de Irati, Paraná. Ambiência Guarapuava (PR), Guarapuava, v. 7, n. 1, p.51-63, jan./abr. 2011.
9. MARINOSKI, Ana Kelly. Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: Estudo de caso em Florianópolis - SC. 2007. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
10. MARINOSKI, Ana Kelly; GHISI, Ener. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: Estudo de caso em Florianópolis - SC. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.67-84, abr./jun. 2008. Trimestral.
11. PHILIPPI, Luís Sérgio *et al.* Aproveitamento da água de chuva. In: GONÇALVES, Ricardo Franci. Consumo de água: Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: Sermograf Artes Gráficas, 2006. Cap. 3, p. 73-151. (PROSAB).
12. SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ITABIRA (SAAE/IRA). Plano de Controle Ambiental (PCA). v.1. Itabira: Oliveira e Marques Engenharia Ltda, 2005. 166 p.
13. SILVA, L.C *et al.* Estudo de viabilidades para o aproveitamento da água de chuva para usos não potáveis no campus da Funcesi em Itabira MG. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Salvador. Anais... . Salvador: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012. p. 1 - 15.
14. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Plúvio 2.1: Chuvas Intensas para o Brasil. Viçosa: Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos, 2006. (Software).