

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA RESULTANTE DA DRENAGEM PLUVIAL COMO FONTE DE SUPRIMENTO DE ÁGUA RECIRCULADA DE EMPREENDIMENTO MÍNERO INDUSTRIAL

Marlon Borges Avelar¹; Alice Silva de Castilho¹; Marcelo Garcia Miranda Diniz¹; Ana Paula Parenti Vianna¹; Cláudia Dias Rosi Nobre²; Rafael Burgarelli³

RESUMO – O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da avaliação da disponibilidade hídrica resultante do armazenamento da drenagem pluvial como fonte de suprimento de água recirculada de um empreendimento minero industrial. Para tanto, foi utilizada modelagem matemática computacional, com o software GoldSim®, onde foi modelado o balanço hídrico da unidade industrial acrescido das águas provenientes do sistema de drenagem pluvial. Na aplicação do modelo foi utilizada série de precipitações diárias com 70 anos de observações. Os resultados mostram que a água proveniente do sistema de drenagem pluvial, armazenada na área disponível para a implantação de reservatório de armazenamento no empreendimento, é capaz de suprir pelo menos 43% da demanda de água nova no processo utilizada com requisitos de água recirculada.

ABSTRACT – This paper presents the results of the assessment of water availability resulting from the storage of storm water drainage as a source of recycled water supply of a mining industry. It was used a computational mathematical modeling, GoldSim® software, which was modeled water balance of the plant plus the water from the drainage system. In applying the model was used series of daily precipitation with 70 years of observations. The results show that water from the drainage system, stored in a reservoir is capable of supplying at least 43% of the demand for fresh water used in the process requirements with recirculated water.

Palavras-chave: drenagem pluvial, fonte de abastecimento, recirculação de água

1) Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda.: Rua dos Inconfidentes, 1011/7º andar, Funcionários, CEP 30140-120, Belo Horizonte - MG. Email: mavelar@golder.com.br, acastilho@golder.com.br, mdiniz@golder.com.br, apvianna@golder.com.br.

2) Engenheira Civil pela UFES. Rua Piratininga, 33, Praia da Costa, CEP 29101-220, Vila Velha – ES. Email: claudia.rosi@hotmail.com

3) Engenheiro Ambiental pela FAESA. Rua Laurentino Proença Filho, 736, Jardim da Penha, CEP 29060-440, Vitória - ES. Email: rafaelburgarelli@uol.com.br.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo trata-se de um porto marítimo de exportação de minério de ferro, o qual é transportado até o local através de ferrovia. O minério pode ser exportado na forma de finos ou pelotas, de acordo com a necessidade do cliente. Sendo assim, na unidade existem usinas de pelotização, que transformam o minério fino em pelotas através de processo térmico.

O minério que chega pela ferrovia fica estocado aguardando a pelotização ou a exportação em pátios. A água efluente do processo industrial bem como a drenagem pluvial da unidade industrial, inclusive dos pátios de minério e pelotas, são direcionadas para bacias de decantação, as quais alimentam um anel de distribuição, que por sua vez fornece água recirculada para as áreas industriais. O excedente é submetido a um tratamento complementar e lançado ao mar.

Parte da água utilizada no processo se perde por evaporação nas torres de resfriamento, sendo necessária a reposição (*make-up*) dessa água, cujos requisitos de qualidade não são atendidos pela água recirculada, logo, da demanda de água nova no empreendimento, da ordem de 1050 m³/h, cerca de 455 m³/h podem ser provenientes de água de recirculação.

A área total do empreendimento é da ordem de 1270 ha, estando grande parte já ocupada pela área industrial, pátios de minério e estruturas de apoio. Portanto, não há grandes áreas disponíveis no empreendimento para a construção de reservatórios de armazenamento de água pluvial. Além disso, por se tratar de uma região portuária, próxima ao mar, as estruturas de armazenamento têm limites de profundidade, em função de variações do nível d'água subterrâneo, bem como intrusão salina.

Outro fator limitante para a identificação de áreas para a instalação de reservatórios de armazenamento de água pluvial é a presença de lagoas naturais na área do empreendimento, as quais estão sendo preservadas.

Ressalta-se que a definição, tanto da área superficial, quanto da profundidade do reservatório de armazenamento, está limitada às questões expostas anteriormente de área disponível, levando em conta a ocupação atual e futura e a preservação das lagoas e de proximidade com o mar. Portanto, o que foi verificado é qual a parcela da demanda de água recirculada pode ser atendida com o volume disponível para a implantação do reservatório de armazenamento.

CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

As estações pluviométrica regional Fazenda Fonte Limpa (Código ANA 020400030) e climatológica Vitória (Código ANA 020400035 e INMET 83648), mais representativas da área em estudo, são operadas pela ANA – Agência Nacional de Águas e INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, respectivamente, e cujas características encontram-se apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das estações representativas da área em estudo.

Nome	Código ANA	Coordenadas Geográficas		Responsável	Tipo	Município	Período de Dados
		Latitude	Longitude				
Fazenda Fonte Limpa	02040003	20°11'25''S	40°19'08''W	ANA	Pluviométrica	Serra	1965 a 2009
Vitória	02040035	20°19'12''S	40°19'12''W	INMET	Climatológica	Vitória	1925 a 1998

Segundo as séries históricas das estações Fazenda Fonte Limpa e Vitória, a precipitação (P) média anual na região é de 1323,3 e 1285,2 mm, respectivamente.

Segundo dados da publicação Normais Climatológicas (INMET, 1992), nos registros da estação climatológica Vitória, no período de 1961 a 1990, a evaporação total média anual (E) é de 931,7 mm, a temperatura média anual (T) é de 24,2 °C e a umidade relativa (UR) de 76,7 %. A variação média mensal destes parâmetros encontra-se apresentada na Tabela 2 e nas Figuras de 1 a 4.

Tabela 2 – Valores mensais das variáveis climatológicas representativas da área em estudo

Variável	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
P (mm) ¹	151,3	93,7	127,1	90,4	67,8	53,3	73,0	62,3	92,1	123,6	205,8	187,4	1323,3
P (mm) ²	132,2	87,7	129,3	107,8	80,8	58,9	66,3	49,5	74,6	128,4	180,8	202,7	1285,2
E (mm)	88,3	83,3	85,4	80,4	74,7	68,8	70,6	78,7	75,4	72,2	74,1	79,8	913,7
T (°C)	26,3	26,9	26,5	25,2	23,7	22,5	21,7	22,2	22,6	23,5	24,4	25,4	24,2
UR (%)	76	75	76	76	76	77	77	76	77	78	78	78	76,7

¹ Dados da estação Fazenda Fonte Limpa.

² Dados da estação Vitória.

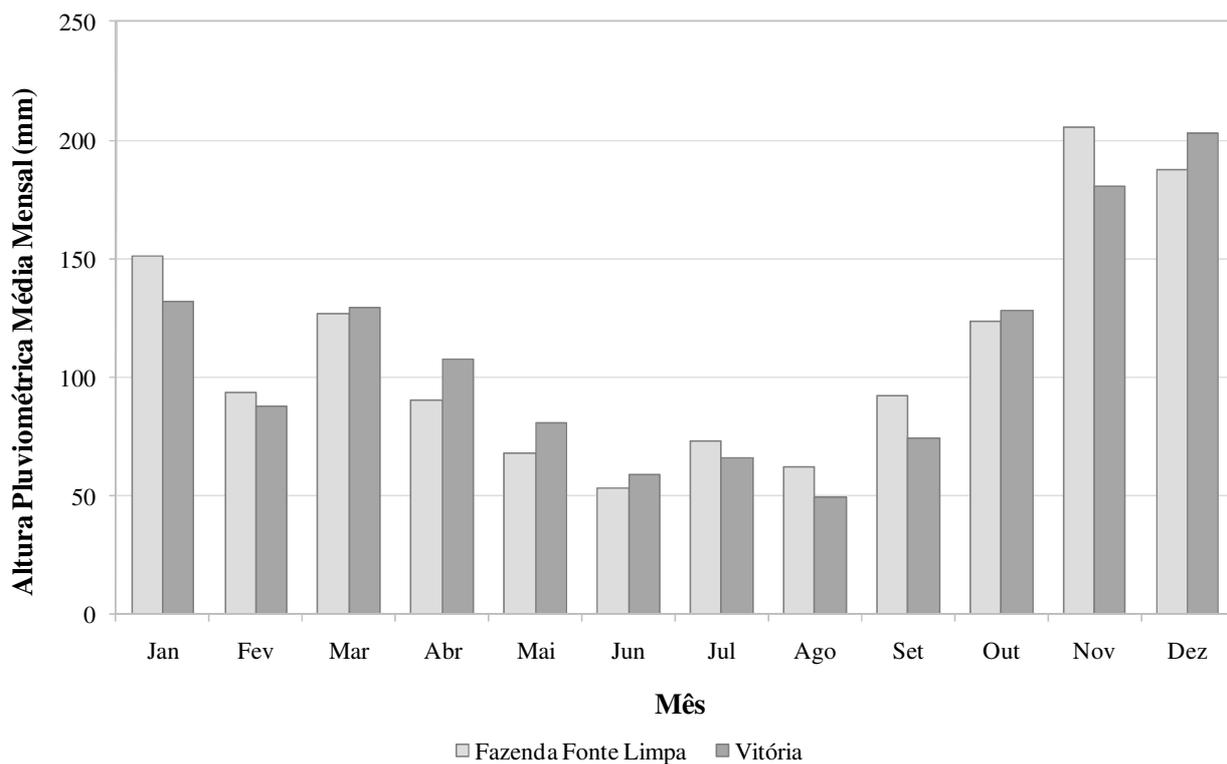


Figura 1 – Variação Mensal da Precipitação (P) – Estações Fazenda Fonte Limpa e Vitória

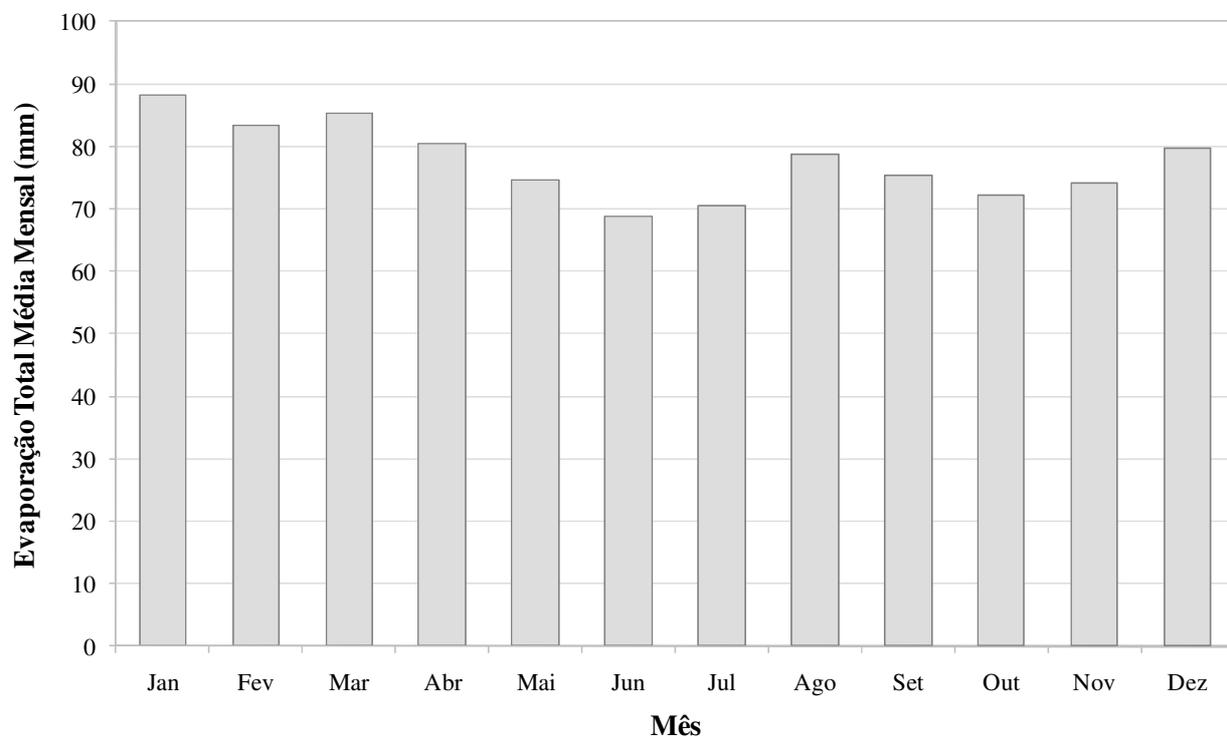


Figura 2 – Variação Mensal da Evaporação Total (E) – Estação Vitória

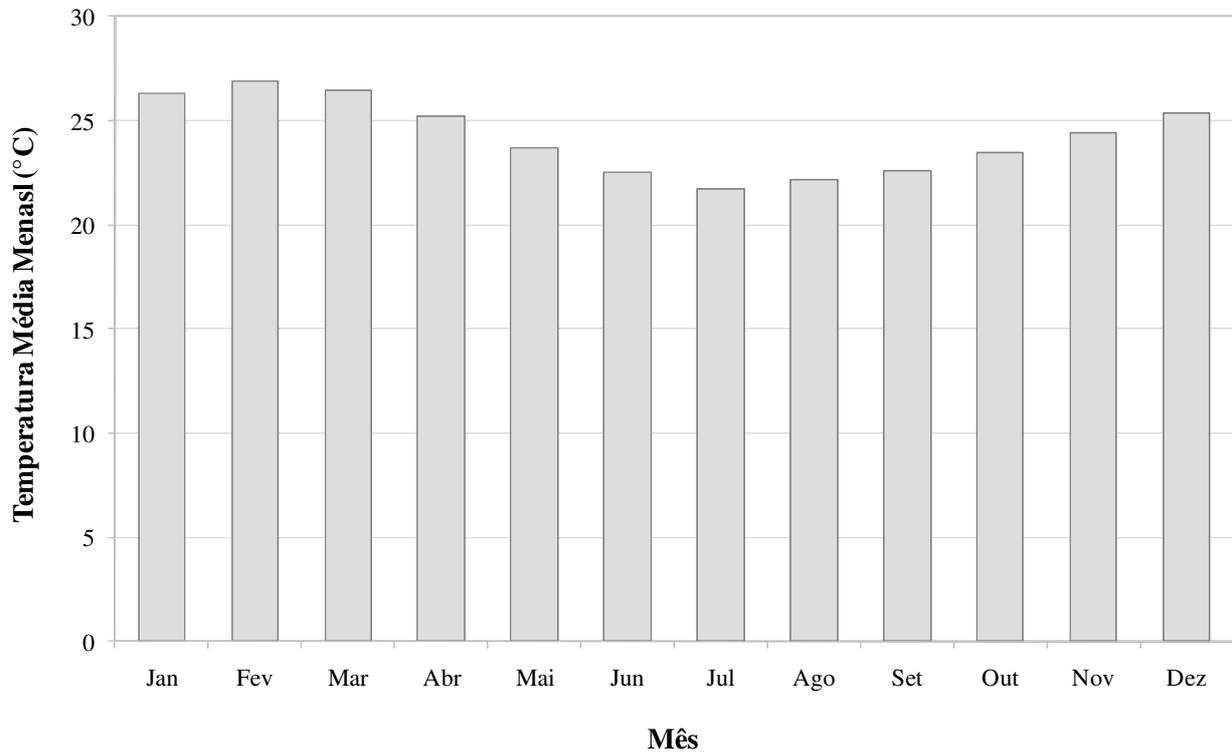


Figura 3 – Variação Mensal da Temperatura Média (T) – Estação Vitória

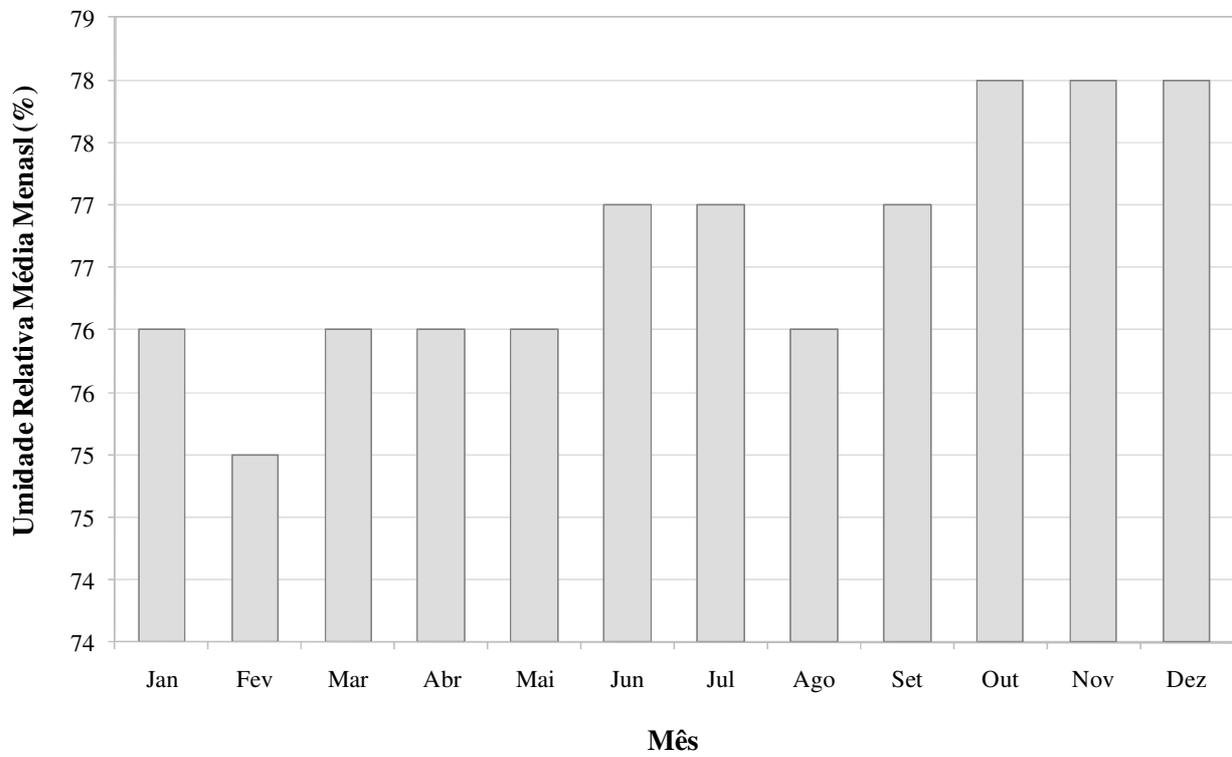


Figura 4 – Variação Mensal da Umidade Relativa (UR) – Estação Vitória

Analisando a Figura 1, verifica-se que o período chuvoso vai de outubro a janeiro e o seco de maio a agosto, porém, no período seco ainda são registradas precipitações médias mensais acima de 50 mm, ou seja, mesmo entre maio e agosto, pode haver geração de escoamento superficial a ser coletado pelo sistema de drenagem.

METODOLOGIA

A metodologia empregada consistiu na associação do balanço hídrico do processo ao balanço hídrico de um reservatório de armazenamento do excedente de águas de drenagem pluvial e posterior reuso como suprimento de água recirculada.

O balanço hídrico do processo foi elaborado utilizando informações do empreendimento e pode ser sintetizado da seguinte forma: um reservatório de suprimento de água nova abastece as estruturas industriais, onde há uma grande perda de água por evaporação, que por sua vez se ligam a bacias de decantação, as quais recebem a água oriunda do processo e alimentam o anel de distribuição que, em sequência, abastece as estruturas industriais com a água recirculada.

O acréscimo da drenagem pluvial consiste na identificação do destino do sistema de drenagem de cada área do empreendimento, que em última análise, são conduzidas para as bacias de decantação. Os excedentes destas bacias, que hoje em dia são lançados ao mar, neste trabalho, foram direcionados para o reservatório de armazenamento.

Cada parcela de área do empreendimento foi caracterizada quanto a sua dimensão, uso e ocupação. Como se trata de parcelas muito pequenas, com áreas menores do que 17,53 ha, para o cálculo do escoamento superficial foi utilizado o método Racional, cuja equação que descreve a transformação chuva-vazão é apresentada a seguir.

$$Q=0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \tag{1}$$

na qual,

Q é a vazão de pico em m³/s;

C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

i é a intensidade da precipitação, correspondente ao tempo de duração crítico em mm/h;

A é a área de drenagem em km².

O volume do reservatório de armazenamento foi definido de acordo com a área disponível no empreendimento e o balanço hídrico deste reservatório pode ser sintetizado como: as entradas consistem no excedente de água proveniente das bacias de decantação e da precipitação direta sobre o espelho d'água; as saídas consistem no bombeamento de vazões de água recirculada para o

empreendimento e evaporação na superfície líquida. Não foram consideradas interações com o nível d'água subterrâneo por falta de informações para tal.

A modelagem matemática foi realizada utilizando o aplicativo GoldSim® (GoldSim, 2007), um *software* gráfico, desenvolvido em plataforma Windows®, que realiza simulações dinâmicas e probabilísticas aplicadas ao gerenciamento e à tomada de decisão nas áreas de engenharia, meio ambiente e finanças. Permite a simulação de sistemas físicos, financeiros ou organizacionais, através da criação e manipulação de dados e equações e a predição de comportamentos e cenários futuros para esses sistemas.

Em relação à gestão de recursos hídricos, o GoldSim® permite a simulação de uma bacia hidrográfica a partir do confronto entre demandas e disponibilidades hídricas, sem e/ou com intervenções estruturais e não-estruturais, incorporando também a abordagem estocástica.

No estudo em questão foi modelado o balanço hídrico entre demandas e disponibilidades utilizando componentes determinísticos ou estocásticos para representar os diversos processos envolvidos no sistema avaliado. Foram realizadas simulações estáticas ou dinâmicas (processos que evoluem ao longo do tempo), incluindo simulação de reservatórios, incorporando as regras operativas e as características hidráulicas de cada estrutura.

Como resultados, foram obtidas as vazões regularizadas, as vazões vertidas e a evolução dos níveis de armazenamento dos reservatórios, sendo possível determinar a probabilidade de ocorrência de falhas e suas conseqüências, bem como alterar as premissas adotadas de forma a minimizar as situações de funcionamento não adequadas identificadas.

DADOS UTILIZADOS

O balanço hídrico do processo atual simplificado, com o aporte da drenagem pluvial, encontra-se apresentado na Figura 5 e o futuro, considerando a existência do reservatório de armazenamento, na Figura 6.

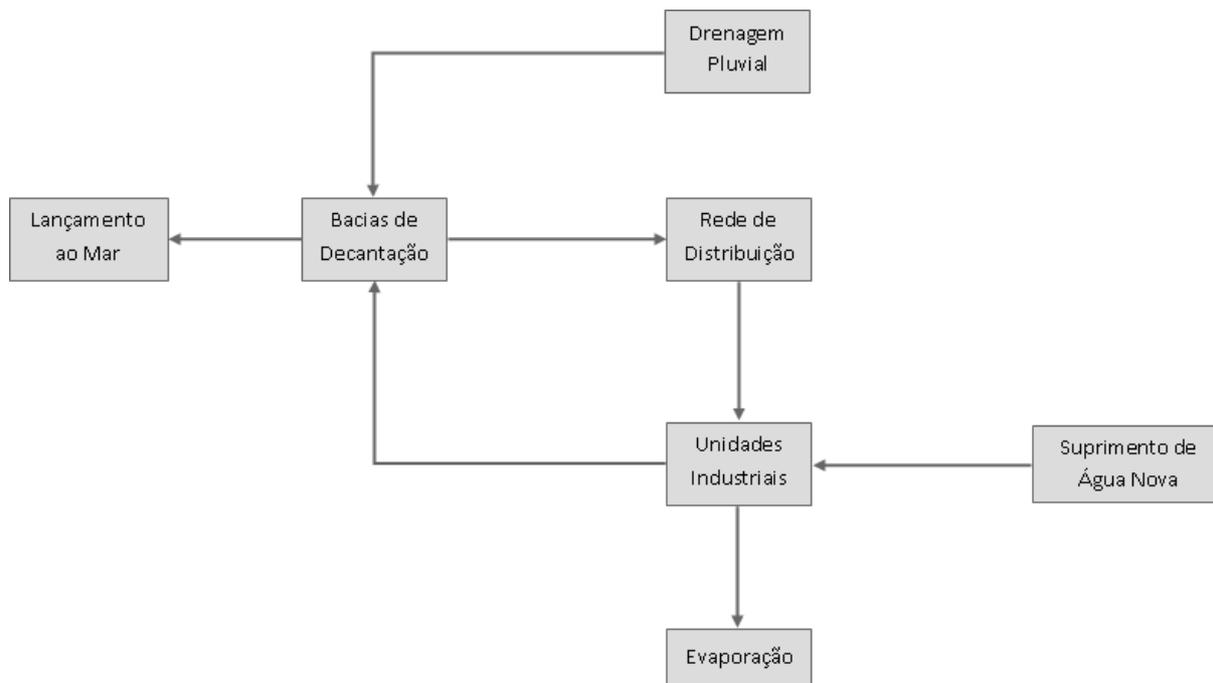


Figura 5 – Balanço hídrico do processo atual

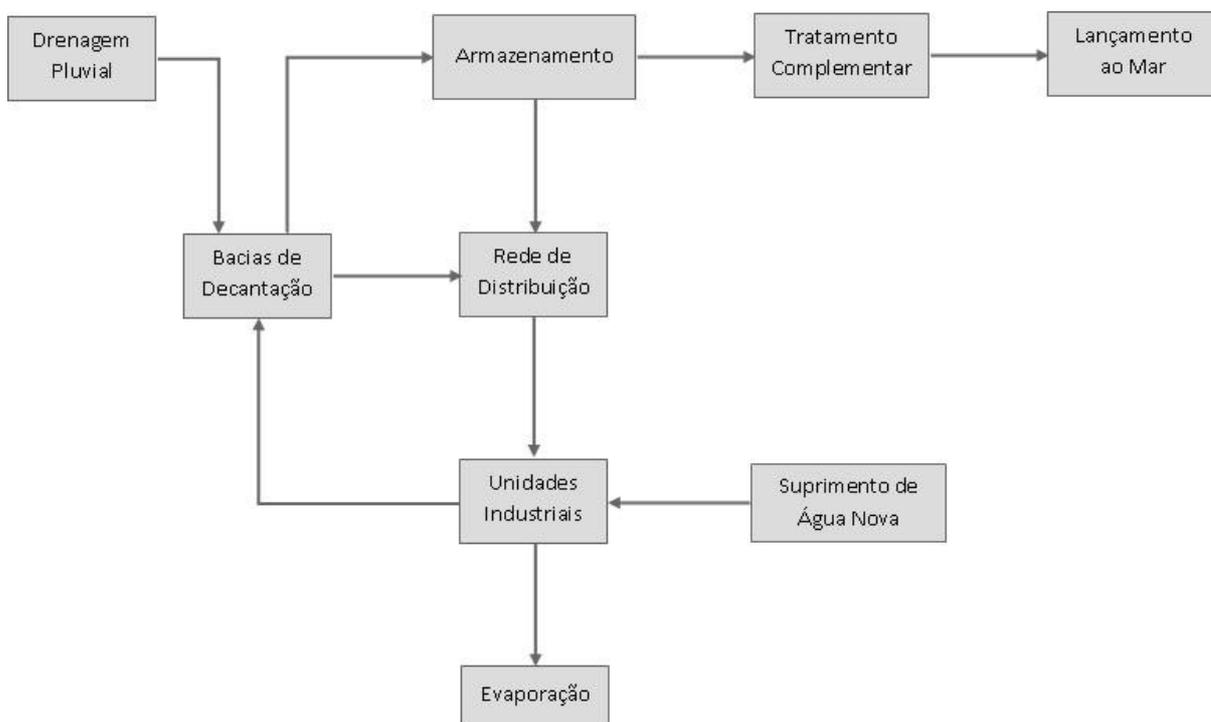


Figura 6 – Balanço hídrico do processo futuro

Numa situação sem chuva, considerou-se que toda a água é recirculada no processo, não havendo excedentes nas bacias de decantação e consequentemente lançamentos no mar.

Atualmente, toda a água nova vem do reservatório de suprimento, mas com a introdução do novo reservatório de armazenamento, a vazão que pode ter sua origem de água recirculada será fornecida por tal.

Para o cálculo da vazão da drenagem pluvial, foram identificadas as tipologias de uso e ocupação do solo e os respectivos coeficientes de escoamento superficial (C) adotados, os quais são apresentados na Tabela 3. A caracterização de cada parcela da área quanto ao uso e ocupação do solo, a área de drenagem e o coeficiente de escoamento superficial ponderado é apresentada na Tabela 4.

Tabela 3 – Tipologias de uso e ocupação do solo e respectivos coeficientes de escoamento superficial (C) adotados

Uso e Ocupação do solo	Código	C
Área operacional	1	0,90
Planta industrial	2	0,75
Arruamento	3	0,85
Vegetação	4	0,20
Edificação	5	0,85
Espelho d'água	6	1,00

Tabela 4 – Caracterização de cada parcela da área em estudo

Parcela	Tipo de Uso e Ocupação do Solo (%) por Código						Área (ha)	C
	1	2	3	4	5	6		
A	100,0	-	-	-	-	-	0,75	0,90
B	-	85,6	-	4,0	-	10,4	12,50	0,75
C	-	93,1	2,1	0,9	-	3,9	16,11	0,76
D	96,3	-	-	3,7	-	-	2,27	0,87
E	60,2	39,8	-	-	-	-	3,86	0,84
F	100,0	-	-	-	-	-	4,07	0,90
G	94,3	-	-	5,4	-	0,3	11,64	0,86
H	86,1	-	-	13,9	-	-	8,68	0,80
I	97,9	-	-	2,1	-	-	5,78	0,88
J	100,0	-	-	-	-	-	7,95	0,90
K	97,6	-	-	2,4	-	-	8,15	0,88
L	100,0	-	-	-	-	-	17,53	0,90
M	100,0	-	-	-	-	-	15,20	0,90
N	100,0	-	-	-	-	-	2,57	0,90
O	78,3	-	-	21,7	-	-	4,07	0,75
P	84,0	-	-	12,7	2,8	0,5	3,48	0,81
Q	100,0	-	-	-	-	-	5,10	0,90
R	43,4	-	20,1	20,6	-	15,9	5,94	0,76
S	16,3	-	22,8	51,6	6,8	2,5	3,98	0,53
T	58,2	-	1,2	40,6	-	-	6,41	0,62
U	24,4	-	28,8	33,8	11,6	1,4	7,84	0,64
V	18,4	-	70,1	6,7	-	4,8	0,88	0,82
W	16,8	-	23,3	52,9	7,0	-	3,88	0,51
X	75,6	-	-	24,4	-	-	1,01	0,73
Y	100,0	-	-	-	-	-	0,34	0,90

Além da caracterização das parcelas da área em estudo, para o cálculo da drenagem pluvial, foi utilizada a série de precipitações diárias da estação Vitória, que possui 55 anos hidrológicos de observações com falhas menores ou iguais a 10 dias. Para os anos dessa estação na qual não havia registros ou cujo número de dias de falhas foi superior a 10, utilizou-se os dados da estação Fazenda Fonte Limpa como complemento da série, com os mesmos critérios de exclusão, totalizando 15 anos hidrológicos de observações. A Tabela 5 apresenta a série de dados mensais para os 70 anos utilizados.

Tabela 5 – Série de dados utilizada no estudo - Precipitação mensal (mm)

Ano Hidrológico	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1	216,0	249,8	120,6	51,4	129,1	83,2	91,7	29,4	115,4	108,6	23,1	108,3
2	57,8	232,4	170,1	301,7	19,2	86,6	43,4	43,1	2,6	136,1	29,4	49,4
3	90,2	92,9	498,0	162,8	88,8	211,6	121,0	107,1	41,4	151,2	26,7	15,3
4	17,6	135,0	76,9	49,4	158,7	103,5	288,1	149,3	17,0	39,7	35,3	43,1
5	97,2	332,7	153,3	64,5	72,9	128,1	124,8	141,5	46,6	100,2	103,3	139,7
6	186,6	183,8	111,0	248,0	125,6	148,5	1,8	280,4	29,7	69,5	70,6	4,2
7	85,4	180,3	133,2	199,7	100,0	95,8	278,2	140,7	10,4	70,5	7,6	270,7
8	269,5	223,5	306,1	54,0	4,9	134,3	37,9	29,9	13,9	29,1	15,8	156,5
9	116,6	130,5	140,5	339,4	103,5	90,6	214,7	21,1	75,6	84,5	190,3	15,3
10	60,8	198,1	77,2	51,5	169,8	132,7	42,3	39,1	283,4	18,8	3,3	187,2
11	382,9	101,9	240,8	224,5	185,7	206,0	233,4	172,6	9,4	57,6	3,5	8,4
12	71,0	203,4	298,3	20,1	15,3	85,8	116,2	58,8	182,8	73,4	134,1	144,6
13	147,8	251,9	173,0	198,3	37,6	24,0	57,1	15,2	42,5	99,0	7,9	27,0
14	32,3	57,4	132,3	99,7	112,6	453,6	34,5	77,2	151,4	62,3	39,8	116,5
15	137,7	194,1	73,2	73,1	182,2	147,0	144,5	106,8	23,0	82,1	69,2	60,9
16	135,1	141,1	153,4	238,7	96,6	51,3	177,6	18,2	136,1	22,3	58,3	58,3
17	102,2	183,1	409,1	175,2	116,3	80,0	16,5	33,5	87,8	42,9	37,7	42,0
18	165,3	160,3	243,8	42,8	21,5	134,0	169,1	106,6	50,1	42,9	74,9	55,2
19	171,1	217,4	374,2	176,8	66,7	171,9	285,0	84,6	7,0	47,3	46,4	113,0
20	107,5	202,8	219,3	52,2	34,7	62,6	167,1	19,7	1,0	19,7	74,3	50,3
21	109,8	207,1	22,8	78,1	76,3	120,9	160,5	89,8	70,8	96,5	49,9	87,5
22	338,2	294,6	231,6	30,9	61,6	104,2	37,2	193,8	67,3	101,5	19,4	54,4
23	67,8	154,7	522,1	272,2	167,1	104,3	42,2	38,5	79,2	27,9	43,1	22,2
24	199,7	132,8	208,7	131,6	65,6	173,0	152,2	125,4	123,5	70,1	6,5	66,7
25	50,4	155,6	172,7	35,6	51,6	127,3	76,5	57,6	80,1	50,5	41,5	13,0
26	15,6	35,9	219,5	202,3	158,3	82,1	36,7	48,0	31,7	65,3	59,8	64,3
27	24,2	234,9	209,6	41,6	87,5	37,8	49,6	70,3	30,4	9,7	28,9	22,2
28	46,6	274,0	184,0	58,7	15,4	32,6	200,1	15,5	47,3	25,8	23,4	54,5
29	105,6	53,4	174,3	107,9	24,4	61,4	158,5	109,2	18,6	11,8	22,6	11,0
30	120,3	272,7	173,4	15,6	28,3	81,6	28,5	57,5	24,6	39,1	67,6	102,7
31	57,6	210,0	342,8	91,0	90,4	94,4	184,2	163,7	47,8	56,8	3,9	54,0
32	52,7	166,9	216,1	38,8	17,0	220,2	121,2	83,5	35,8	74,7	14,0	116,3
33	101,1	120,6	178,4	123,4	129,9	105,2	31,5	112,3	56,3	54,7	9,5	87,6
34	108,7	224,0	3,0	143,1	5,3	16,0	132,4	111,0	17,0	173,2	43,8	118,2
35	63,6	160,4	272,4	131,0	113,6	95,4	35,0	40,8	93,4	64,8	87,8	142,8
36	253,0	521,0	131,1	74,8	98,0	34,4	160,7	88,7	85,6	102,5	109,7	103,2
37	77,3	110,2	107,6	83,9	85,3	238,8	104,4	0,0	33,3	37,1	0,0	97,1
38	217,2	169,2	178,8	198,6	93,9	302,7	35,5	162,4	142,5	58,5	13,3	151,1
39	304,0	95,1	61,9	23,3	13,3	129,1	30,5	129,7	4,3	149,7	40,3	158,9
40	174,5	148,1	313,4	95,0	78,5	8,9	221,7	83,4	34,8	34,5	9,1	112,2
41	133,3	268,4	348,5	47,1	221,0	123,7	103,1	53,0	62,7	328,3	100,8	124,3
42	86,4	118,2	109,0	410,9	284,2	200,6	34,7	29,0	18,1	66,2	22,8	49,2
43	46,9	134,3	228,3	199,9	85,6	60,4	191,9	99,0	39,5	35,6	51,3	13,8

Ano Hidrológico	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
44	88,5	84,2	483,3	102,6	100,0	148,1	154,8	100,2	45,7	35,1	50,1	13,7
45	105,7	312,7	95,1	185,9	79,8	206,3	83,8	172,9	7,2	26,1	74,0	46,1
46	57,1	51,2	148,6	266,9	178,1	60,6	130,0	37,6	21,8	27,2	25,3	191,7
47	271,6	386,5	424,9	112,4	192,4	126,3	70,6	42,6	20,8	28,5	129,8	55,9
48	130,2	185,2	274,7	471,5	53,3	67,0	111,7	32,7	30,9	99,5	63,7	159,3
49	128,4	176,8	158,9	78,7	18,4	26,3	25,6	54,9	38,9	83,1	182,8	77,8
50	78,6	65,9	204,5	78,7	56,2	178,6	64,8	26,8	52,0	42,3	9,4	76,4
51	76,8	264,9	256,7	162,2	3,7	94,4	96,0	36,5	133,4	43,9	68,3	106,2
52	188,4	162,7	171,0	132,4	16,0	99,5	81,1	114,6	66,1	17,0	86,7	22,9
53	150,8	190,9	362,6	8,4	27,0	4,2	0,0	64,4	110,8	182,6	167,0	72,9
54	40,6	115,7	96,1	338,9	54,7	62,6	36,6	46,8	83,1	156,9	127,3	111,1
55	234,2	325,5	241,0	75,8	11,4	45,4	116,4	115,9	71,8	40,8	39,1	49,3
56	87,5	97,3	229,7	275,4	30,7	187,5	136,9	99,2	19,0	70,9	23,2	35,9
57	108,9	92,4	108,5	8,5	48,7	134,1	86,9	150,3	6,2	85,5	76,0	53,2
58	260,4	318,7	241,6	67,0	70,6	112,8	157,2	57,4	72,0	68,4	14,3	150,9
59	106,6	394,8	151,4	126,7	71,9	300,4	137,8	65,6	5,2	12,6	5,6	48,0
60	122,4	127,3	250,7	66,1	128,3	36,4	9,4	3,0	17,4	29,6	48,7	23,2
61	166,0	477,5	285,4	181,7	97,6	157,6	148,3	88,3	77,6	39,7	48,8	144,9
62	11,3	340,2	318,4	88,7	52,1	48,8	3,6	77,8	50,0	95,0	50,4	109,4
63	269,8	495,2	172,3	113,2	248,8	77,1	90,8	78,2	74,3	60,3	106,4	194,7
64	19,2	97,0	227,6	269,5	11,2	0,0	92,8	14,1	0,0	87,4	9,3	27,6
65	103,9	39,7	260,2	198,5	146,7	245,7	177,8	38,9	64,6	87,0	77,5	5,8
66	118,3	112,5	315,0	104,4	373,7	250,5	51,0	126,3	159,1	88,3	17,2	228,4
67	24,5	280,7	162,7	46,2	14,8	378,6	42,3	0,0	42,0	76,5	62,6	83,3
68	135,9	252,0	416,1	142,7	196,9	23,3	94,7	18,1	23,0	1,2	38,7	44,3
69	44,7	127,1	78,6	188,5	312,7	132,2	24,1	41,0	82,8	27,6	11,4	41,0
70	131,7	383,7	158,2	325,8	39,3	192,3	202,8	67,7	46,4	137,6	41,7	25,6

Para a definição do volume do reservatório de armazenamento, foi analisada a área disponível no empreendimento. Esta é da ordem de 37 ha e trata-se de uma lagoa cujo entorno está completamente ocupado pela área industrial, Considerou-se que o espelho d'água pode ser da ordem de 30 ha, com profundidades variando de 2 a 4 m e com inclinação das margens de 1(V):3(H), o volume disponível para o reservatório será de 585.000 a 1.145.000 m³ aproximadamente.

O balanço hídrico do reservatório de armazenamento pode ser representado pela equação a seguir:

$$V_{i+1} = V_i + (P_i - E_i) \cdot A + (\sum Q_e - Q_s)(t_{i+1} - t_i) \quad (2)$$

na qual:

V_{i+1} é o volume do reservatório de armazenamento no instante $i + 1$;

V_i é o volume do reservatório de armazenamento no instante i ;

P é a precipitação sobre a superfície líquida no instante i ;

E é a evaporação sobre a superfície líquida no instante i ;

A é a área da superfície líquida;

$\sum Q_e$ é o somatório de vazões de entrada ao reservatório;

Q_s é a vazão de saída ao reservatório;

$(t_{i+1} - t_i)$ é o intervalo de tempo entre os instantes $i + 1$ e i .

Foram utilizados os dados das normais climatológicas de evaporação total anual média, apresentados na Tabela 2, por falta de série de dados no período de simulação desejado.

A vazão de entrada Q_e proveniente das bacias de decantação é variável, em função, principalmente, da precipitação nas parcelas da área do empreendimento que é conduzida através do sistema de drenagem pluvial para as bacias de decantação.

A vazão de água Q_s bombeada do reservatório para utilização como água recirculada no processo, quando disponível, é de 455 m³/h, ou seja, nesse estudo considerou-se que o sistema de bombeamento só será acionado quando for possível atender 100% da demanda diária.

RESULTADOS

O balanço hídrico do reservatório de armazenamento foi calculado considerando os volumes disponíveis de 585.000, 868.000 e 1.145.000 m³, dependendo da profundidade adotada (2, 3 e 4 m, respectivamente). Para cada um dos volumes foram analisadas duas situações: capacidade de atender a vazão total demandada de 455 m³/h e o número de falhas registradas e qual a vazão máxima poderia ser retirada do reservatório, desde que não houvesse falha no abastecimento, analisando o número de vertimentos ocorridos nesse reservatório. Estes resultados encontram-se apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do balanço hídrico do reservatório para atendimento da demanda total recirculada ou garantia de abastecimento de 100%

Cenário	Volume (10 ³ m ³)	Vazão bombeada (m ³ /h)	Garantia de abastecimento (% dias)	Vertimentos (% dias)
1	585	455	43,5	0,070
2	868	455	43,7	0,004
3	1.145	455	43,7	0
4	585	110	100,0	7,640
5	868	130	100,0	5,780
6	1.145	136	100,0	5,140

A partir da análise da Tabela 6 verifica-se que para o atendimento da demanda total recirculada, de 455 m³/h, correspondente aos cenários 1, 2 e 3, o percentual de dias em que ocorrem vertimentos no reservatório de armazenamento é extremamente baixo nos três cenários estudados e o percentual de dias em que é possível atender à demanda total gira em torno de 43%. Outro resultado importante diz respeito ao volume máximo ocupado, correspondendo a aproximadamente

873.000 m³, ou seja, valores acima desse volume não foram necessários para armazenamento e não haveria vertimentos.

Para os cenários 4, 5 e 6, nos quais foi considerado que para os três volumes de armazenamento estudados, em todos os dias seria possível atender ao empreendimento com uma determinada vazão máxima, os valores obtidos variaram de 110 m³/h para o menor volume, de 585.000 m³, até 136 m³/h para um volume disponível de 1.145.000 m³/h, demonstrando que mesmo quando o volume de armazenamento seja duas vezes maior, a vazão máxima bombeada aumenta apenas em aproximadamente 24% para a série de 70 anos simulada. Conforme o gráfico da Figura 7, o período crítico para o cenário 4 difere do período crítico do cenário 6, ou seja, a série de eventos de precipitação e estiagem que limitou a vazão máxima bombeada desses cenários são distintos.

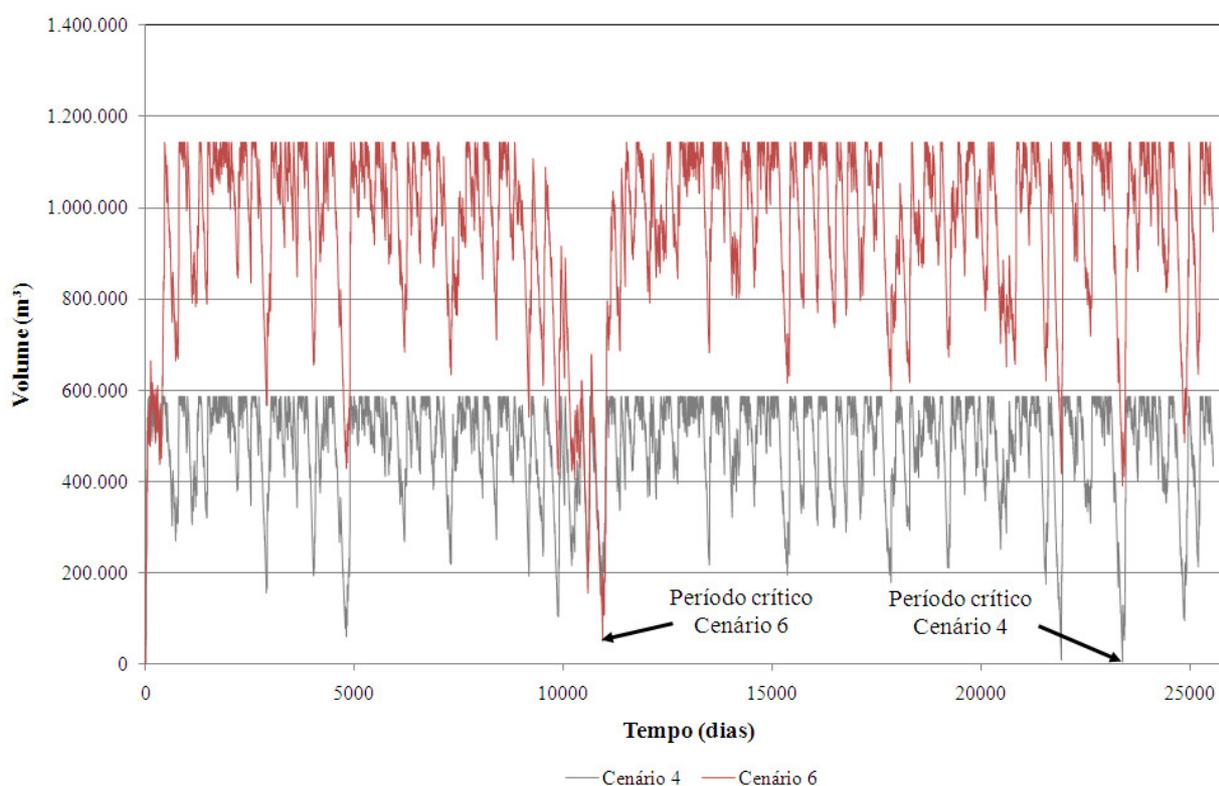


Figura 7 – Períodos críticos para os cenários 4 e 6

Ressalta-se que a garantia de abastecimento de 100%, quando se usa uma série longa de precipitações, que é o caso deste trabalho, pressupõe que a amostra é representativa da população e no futuro repetirá o que aconteceu no passado. O que não é exatamente real, Portanto, o ideal é trabalhar com níveis de garantia de abastecimento, pois admite-se que poderá haver falhas de abastecimento.

Assim, procurou-se encontrar um equilíbrio entre as falhas de abastecimento e os vertimentos no mar, ambas situações indesejáveis. Para tanto, foram estudados cenários de garantia de abastecimento de 90 e 95% do tempo. Os resultados encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do balanço hídrico do reservatório para atendimento de parte da demanda total recirculada com garantia de abastecimento de 90% e 95%

Cenário	Volume (x10 ³ m ³)	Vazão bombeada (m ³ /h)	Garantia de abastecimento (% dias)	Vertimentos (% dias)
7	585	191	90	1,86
8	868	205	90	0,79
9	1.145	211	90	0,34
10	585	167	95	3,05
11	868	185	95	1,39
12	1.145	193	95	0,76

CONCLUSÕES

Através dos resultados encontrados verifica-se que a utilização de um reservatório de armazenamento com 873 mil m³ é capaz de suprir a demanda do empreendimento de 455 m³/h com água recirculada com cerca de 43% de garantia e sem vertimentos. As falhas ocorrerão mais frequentemente no período seco, quando as entradas do reservatório diminuirão e a demanda permanecerá constante.

Para aumentar a garantia do suprimento para 90%, um reservatório com cerca de 868 mil m³ forneceria ao empreendimento uma vazão de 205 m³/h (cerca de 44% da demanda), com 0,79% do tempo com vertimentos.

Para otimizar a utilização da água pluvial, recomenda-se que o reservatório com cerca de 870 mil m³ de volume útil seja operado de forma que no início do período de estiagem mais severa na região, ou seja, nos meses de junho a agosto, esteja com sua capacidade máxima ocupada. Assim, caso não houvesse precipitação neste período, ainda assim o reservatório poderia suprir a demanda do empreendimento de 455 m³/h por aproximadamente 70 dias, já descontada a evaporação média na superfície líquida no período.

Ressalta-se que, para que haja a implantação de um sistema de recuperação de água da drenagem pluvial como este, é necessário que haja um sistema de acompanhamento do balanço hídrico das estruturas em tempo real.

As vantagens da utilização de um sistema como este, vão além das econômicas e ambientais, mas também estratégicas, numa região em que há escassez de água de abastecimento e que alternativas para abastecimento se encontram a algumas dezenas de quilômetros de distância ou referem-se a dessalinização da água do mar.

BIBLIOGRAFIA

ANA – Agência Nacional de Águas. *Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas*. Dados hidroclimatológicos. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>.

GOLDSIM TECHNOLOGY GROUP (2007). *GoldSim Probabilistic Simulation Environment*. Washington, USA.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (1992). *Normais Climatológicas – 1961-1990*. Brasília.