

LAGO DE ÁGUAS CLARAS – BALANÇO HÍDRICO DO SISTEMA AQÜÍFERO – LAGO

César Augusto Paulino Grandchamp¹ & Leila Nunes Menegasse²

Resumo - A mina de ferro de Águas Claras, de propriedade da Minerações Brasileiras Reunidas, MBR, explotou minério da principal unidade aquífera local, a Formação Cauê. A mina localiza-se na Serra do Curral, município de Nova Lima. A mineração iniciou-se em 1973, explotando-se até 2000, 300 milhões de toneladas de ferro. Em 1981 a lavra atingiu o nível d'água na cota 1175 m, dando, então o início do seu rebaixamento. Em fevereiro de 2000 cessou-se o bombeamento, iniciando-se a recuperação do aquífero, o qual produzirá, ao final, um lago de 234 m de profundidade na cava. Desde então, tem sido realizado um controle sistemático dos parâmetros hidrológicos. Este trabalho consistiu na realização do balanço hídrico do sub-sistema cava-aquífero a partir do monitoramento hidrológico entre agosto de 2001 e setembro de 2002 e na estimativa de tempo do preenchimento da cava. Os resultados do balanço hídrico mostraram que, do total de água acumulada na cava cerca de 63% foi proveniente do aporte de água subterrânea, 20% do escoamento superficial, 12% de aporte decorrente do bombeamento e 5% devido à precipitação direta. Obteve-se um aporte médio de água subterrânea de 215 m³/h. O tempo estimado para a formação do lago foi de 15 anos.

Abstract - The Águas Claras Mine, property of MBR, is located to the south of the city of Belo Horizonte, in the “ Quadrilátero Ferrífero” area. Mining activities occurred from 1973 to 2002, totaling almost 300 Mt of iron ore. Ore was extracted from the Cauê Formation, which is also the main aquifer. Dewatering started in 1981, when the pit reached the elevation 1175 meters. Recovery of the aquifer started in early 2002, when the wells were turned off. Since then, a daily control of hydrological parameters is being carried out. It comprises water level monitoring at piezometers as well as in lake, water debt at springs, evaporation and precipitation. The aim is to precisely determine the hydric balance. This paper describes the methodology used for assessment of recovery of the aquifer and filling of the lake. It is expected that a 210 meters deep lake will be formed in the pit. The results have shown that the average groundwater contribution to the lake is 215 m³/h, even considering the loss of water by infiltration in the aquifer.

¹ Hidrogeólogo, Minerações Brasileiras Reunidas, cpg@mbr.com.br,

² Prof. Dra. Universidade Federal de Minas Gerais.

Palavras-Chave - balanço hídrico; lago; cava.

INTRODUÇÃO

A Mina de Águas Claras está situada no denominado Quadrilátero Ferrífero no flanco sudeste da Serra do Curral no município de Nova Lima, Minas Gerais. Situa-se entre os paralelos 19°56'43'' e 19°58'27'' de latitude e 43°52'30'' e 43°56'15'' de longitude.

A Figura 1 mostra a posição geográfica da Mina de Águas Claras, as cidades de Belo Horizonte e Nova Lima e a Serra do Curral.

A mina é de propriedade da MBR, Minerações Brasileiras Reunidas, a qual teve suas atividades iniciadas em 1973 e de onde se explotou cerca 300 milhões de toneladas de minério de ferro.

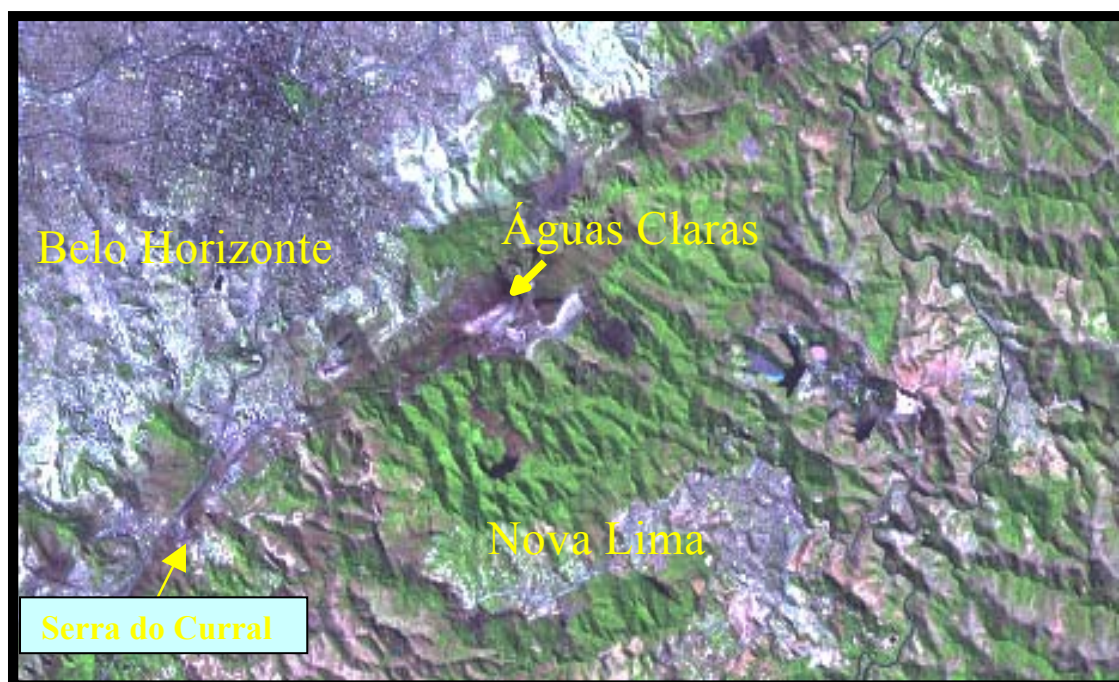


Figura 1 - Imagem de satélite Landsat mostra a localização da Mina de Águas Claras.

Com o término das atividades de mineração na cava da Mina de Águas Claras a bateria de poços de rebaixamento de água subterrânea foi desativada, dando início aos processos de enchimento da cava e de recuperação do aquífero. Estes processos envolvem continuamente transferências de água atmosférica e do aquífero até que o sistema entre em equilíbrio dinâmico.

Tais transferências são contabilizadas por meio dos elementos do **balanço hídrico** local (Figura 2), permitindo, assim, estimar-se o tempo de enchimento da cava.

Conceituação dos parâmetros hidrológicos e hidrogeológicos

a) Precipitação (P)

A precipitação corresponde à lâmina de chuva precipitada por toda a área do sub-sistema cava, cuja área é de 1.360.000 m². Desta forma tem-se para o cálculo do volume de chuvas no sub-sistema cava:

$$\mathbf{VP = Área do sub-sistema \times índice pluviométrico,}$$

onde:

VP = volume de chuvas.

b) Precipitação direta (PD)

Trata-se do volume de chuvas em um período de tempo que cai diretamente sobre espelho de água do lago.

$$\mathbf{PD = Área do lago \times índice pluviométrico.}$$

A área do lago correspondeu ao valor médio da área do espelho d'água no período de tempo correspondente à incidência das chuvas.

c) Evaporação (EV)

A evaporação refere-se ao volume de água “perdida” pela transformação em vapor, diretamente do espelho de água do lago. Desta forma tem-se:

$$\mathbf{EV = Área do lago \times índice evaporimétrico \times 0,7}$$

O índice evaporimétrico é medido diariamente em um tanque tipo Classe A, sendo o valor corrigido do fator 0,7 que é correção necessária para considerar os valores obtidos no evaporímetro para espelhos d'água.

d) Evapotranspiração (ETR)

A cobertura vegetal dentro da área do sub-sistema Cava é bastante incipiente. Além disso, o sistema de drenagem implantado faz com que toda água escoe o mais rápido possível para o interior da cava não permitindo a formação de poças. Estes fatores tornam a evapotranspiração passível de ser desprezada na equação final do balanço hídrico.

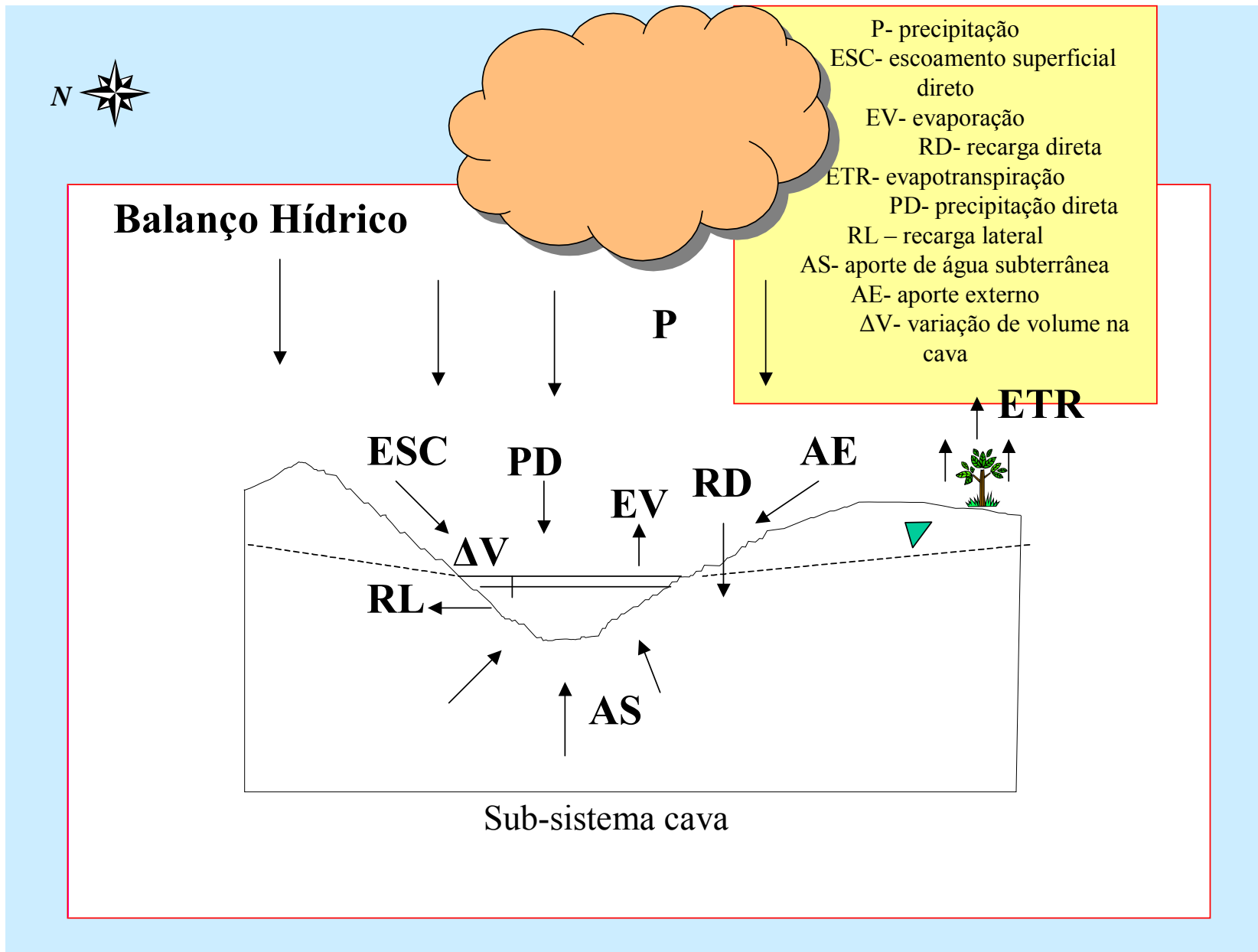


Figura 2 - Elementos do balanço hídrico no sub-sistema cava.

d) Recarga direta (RD)

A recarga direta corresponde à água de precipitação que infiltra e recarrega o aquífero na área total de afloramento do aquífero da Formação Cauê dentro do Sistema Serra do Curral. A importância deste parâmetro se deve ao fato de que grande parte da água que chega ao aquífero será transformada em aporte de água subterrânea para o lago. Como a cava é o local onde a superfície potenciométrica se encontra mais deplecionada, significa que existirá um fluxo de água subterrânea de outros pontos do aquífero para o seu interior. Desta forma, obtêm-se, indiretamente, o valor de parte da recarga direta a partir do valor do aporte de água subterrânea (AS).

e) Recarga lateral (RL)

A recarga lateral é o volume de água que infiltra no aquífero através das paredes da cava. Esta recarga deveria ser mais intensa nos períodos de chuva, ocasiões em que a cota do nível de água do lago eleva-se acima da cota piezométrica do aquífero.

Enquanto persistir esta diferença potenciométrica, o fluxo de água que naturalmente se processa do aquífero para a cava, deveria ser revertido do lago para o aquífero promovendo a recarga do mesmo. No período de chuva, durante a fase de monitoramento, esta inversão deveria ser observada quando, após chuvas intensas, a cota da superfície do lago deveria sofrer um abaixamento, mostrando, então, que o lago estaria perdendo água para o aquífero.

Entretanto um deplecionamento do nível do lago nunca foi observado, e nem mesmo alteração da taxa de elevação da cota. A partir deste fato concluiu-se que, mesmo o lago influenciando o aquífero nestes períodos, o fluxo contrário, ou seja, o aporte de água subterrânea, se manteve com um volume superior, impedindo que este deplecionamento ocorresse. O aporte de água subterrânea é, portanto, o parâmetro que expressa a inter-relação entre a recarga do aquífero e sua descarga para o interior da cava.

f) Aporte externo (AE)

O aporte externo é o volume de água incrementado ao lago por bombeamento de fonte externa para contribuir com o enchimento do lago. Para este caso em estudo a água está sendo captada no Ribeirão do Prata e bombeada a uma taxa de cerca de 220 m³/h para o interior da cava. O controle do volume bombeado é executado através de medidas de vazão, duas vezes ao dia, em um vertedor trapezoidal colocado no canal por onde a água passa. O tempo de bombeamento é controlado por dois horímetros instalados nas bombas.

Desta forma tem-se:

$$\mathbf{AE = Vazão medida no vertedor * tempo de funcionamento da bomba.}$$

g) Aporte subterrâneo (AS)

O aporte subterrâneo é o volume de água aportado do aquífero a cava. Foi obtido indiretamente a partir da variação de volume (ΔV) nos dias de estiagem e em que o aporte externo (AE) encontrava-se paralisado. Assim, toda a água que compõe o acréscimo de volume em dias secos (ΔV) somado ao volume evaporado (EV) corresponde ao volume aportado através do fluxo subterrâneo, ou seja:

$$AS = \Delta V + EV$$

Uma consideração a ser feita é que, em todos os dias do período monitorado, a variação de volume do lago foi sempre positiva, ou seja, os volumes aportados foram sempre maiores que os volumes perdidos.

A recarga lateral é um fenômeno instantâneo, ou seja, ocorre logo após elevação da cota do espelho d'água do lago devido ao aporte de chuvas. Entretanto, cessadas as chuvas, o volume infiltrado retorna ao lago como fluxo subterrâneo.

Desta forma, no valor do aporte subterrâneo já estaria contabilizada a recarga lateral, ou seja, o AS corresponde à diferença entre o volume de água fornecido pelo aquífero para o lago e o volume de água fornecido do lago para o aquífero.

h) Variação de volume (ΔV)

A variação de volume de água no lago refere-se ao volume de água incrementado ou perdido, em um determinado período de tempo. Foi obtida a partir da coleta diária da cota do nível de água do lago, e, de posse destas, calculou-se, utilizando-se o software Datamine, o volume de água entre estas cotas. Desta forma obteve-se o valor desta variação de volume em nível diário.

i) Escoamento superficial (ESC)

O escoamento superficial é o volume de água aportado para o lago drenado de toda a superfície da área do sub-sistema Cava (1.360.000 m²) descontada a área média do espelho de água para o período que se quer calcular.

RESULTADOS

A coleta dos dados para subsidiar os estudos do balanço hídrico foi iniciada em agosto de 2001 com frequência da coleta dos dados foi diária.

A área de drenagem inicial do lago é de 1.360.000 m², sendo que 20% são constituídos de terrenos naturais com cobertura de cangas e vegetação característica e os 80% restantes são

constituídos de bermas e taludes em rochas (itabiritos, hematitas, quartzitos e filitos) pouco vegetados.

Desta forma temos a seguinte equação característica para o balanço hídrico do sub-sistema cava:

$$\mathbf{AS + AE + PD + ESC = ETR + EV + RL + \Delta V}$$

onde:

- **AS** corresponde ao aporte de água subterrânea, medido em m³/h ou m³/mês;
- **AE** corresponde ao aporte de água externa, medido em m³/h ou m³/mês;
- **PD** corresponde ao volume de chuva precipitado diretamente sobre o espelho de água do lago medido em m³;
- **ESC** corresponde ao volume de água aportado superficialmente a partir da área da cava, medido em m³;
- **ETR** corresponde ao volume de água evapotranspirado dentro do sub-sistema cava medido em m³;
- **EV** corresponde ao volume de água evaporado a partir da superfície do lago medido em m³;
- **RL** corresponde ao volume de água infiltrado nas paredes da cava a partir do lago medido em m³;
- **ΔV** corresponde à variação de volume acumulado ou perdido no lago medido em m³.

Conforme já descrito anteriormente o parâmetro ETR não será mantido na equação por ser considerado e o parâmetro RL, conforme já explicado, também será desconsiderado. Desta forma a equação do balanço hídrico passa a ser representada da seguinte forma:

$$\mathbf{AS + AE + PD + ESC = EV + \Delta V.}$$

Como os valores dos parâmetros AS, AE, PD, EV e ΔV são conhecidos por serem obtidos diretamente através do monitoramento, pode-se assim obter o valor do ESC que é única incógnita da equação, ou seja:

$$\mathbf{ESC = EV + \Delta V - AS - AE - PD}$$

Na Tabela 1 serão representados os valores mensais dos parâmetros medidos ou calculados diretamente a partir dos dados do monitoramento.

Com base nos resultados obtidos pode-se dizer que o aporte médio de água subterrânea para o período foi de cerca de 215 m³/h, o qual foi calculado a partir da variação de volume somado à evaporação em dias sem ocorrência de chuvas e sem bombeamento de água externa. No período de um ano (agosto 2001/agosto 2002) este volume foi de 1.869.504 m³.

O total de água bombeada para o interior da cava neste mesmo período, aporte externo (AE), foi de 363.510 m³.

A chuva total no período (P) foi de 1.746 mm ou 1,746 m e a evaporação (EV) foi de 1.423 mm ou 1,423 m e que, ao aplicarmos o fator de correção, 0,7, para espelhos de água obtêm-se o valor de 996,1 mm ou 0,9961 m para o lago.

O “superávit” hídrico (P-EV) do período monitorado, agosto 2001 até agosto 2002, é de 749,9 mm ou 0,750 m, ou seja, na área do estudo tem-se uma oferta de chuva muito maior que a perda por evaporação. Pode-se dizer então que, a evaporação do lago corresponde a 57 % da precipitação direta sobre a superfície da lâmina d’água, e portando, podendo ser representada pela expressão:

$$EV = 0,57 \times P \times Alago$$

onde,

- **P** é a precipitação;
- **Alago** é a área do espelho d’água do lago.

Tabela 1 – Parâmetros do balanço hídrico.

Data	Tempo hora	Cota do NA m s.m.m	Superfície lago (m ²)	Precipitação(P) (m)	Evaporação(EV) (m)	Variação de volume (m ³)	Volume acumulado (m ³)	Aporte(AE) externo (m ³)	Aporte(AS) subterrâneo(m ³ /h)
02/08/01		913,82	50.518,30				608.918,30	0,00	
04/09/01	792,75	916,94	57.512,86	0,030	0,0957	152.786,32	761.704,62	0,00	199,7
01/10/01	647,08	919,12	67.857,19	0,078	0,1112	154.438,82	916.143,44	0,00	250,3
02/11/01	766,42	921,48	73.652,45	0,101	0,1529	150.107,84	1.066.251,29	0,00	210,5
03/12/01	745,58	925,44	81.165,89	0,363	0,1578	221.299,81	1.287.551,10	0,00	220,2
02/01/02	720,08	929,64	91.903,43	0,352	0,2060	361.340,86	1.648.891,96	0,00	220,2
01/02/02	721,08	933,06	98.752,85	0,363	0,1541	444.423,45	2.093.315,40	29.393,70	220,2
05/03/02	766,17	935,85	103.075,50	0,306	0,1573	281.603,80	2.374.919,20	0,00	220,2
01/04/02	650,17	937,55	106.360,60	0,098	0,0834	177.914,23	2.552.833,43	34.252,24	210,0
29/04/02	672,83	939,52	110.071,40	0,025	0,0850	213.023,30	2.765.856,73	93.118,82	210,0
03/06/02	841,33	941,21	114.630,70	0,026	0,0823	188.702,30	2.954.559,03	57.845,94	216,4
01/07/02	670,00	942,94	119.136,70	0,000	0,0768	244.729,08	3.199.288,11	101.117,50	223,7
01/08/02	742,50	944,35	121.795,10	0,005	0,0805	169.344,31	3.368.632,42	47.781,27	210,0
03/09/02	792,00	945,58	123.929,70	0,015	0,1320	198.008,18	3.566.640,60	26.472,53	200,0
30/09/02	640,67	947,10	127.826,90	0,152	0,1389	191.748,00	3.758.388,60	76.042,14	200,0
28/10/02	671,33	948,59	131.094,60	0,009	0,1381	192.318,80	3.950.707,40	116.518,28	200,0
03/12/02	868,00	950,64	135.110,30	0,252	0,1425	272.011,20	4.222.718,60	77.689,36	200,0
06/01/03	816,00	954,25	142.264,90	0,495	0,0887	499.836,90	4.722.555,50	62.247,80	200,0
Total	10.840,00			1,922	1,8519		4.722.555,50	722.479,58	

OBS: o aporte subterrâneo foi calculado a partir da variação de volume de água no lago em dias sem chuva.
OBS: para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2002 utilizou-se como AS a média de agosto e setembro.

Em agosto de 2001 quando foi iniciado o monitoramento foi realizada uma batimetria no interior da cava para que se conhecesse o volume já acumulado de água e sedimentos no lago. Em agosto de 2002 uma nova batimetria foi realizada para que novamente pudesse ser medido o volume acumulado no período de água e sedimento. Conhecido o valor final e inicial do volume d'água acumulado no lago no período pode-se determinar o volume de sedimentos acumulado do período. Desta forma tem-se:

$$V_f (\text{agosto 2002}) = 3.368.632,42 \text{ m}^3 ;$$

$$V_i (\text{agosto 2001}) = 608.918,3 \text{ m}^3 ;$$

$$V_s = 120.577 \text{ m}^3 .$$

Onde, V_f corresponde ao valor total acumulado em agosto de 2002, V_i corresponde ao total acumulado em agosto de 2001 e V_s corresponde ao valor de sedimentos acumulados neste período. Desta forma, a variação de volume de água na cava (ΔV) no período monitorado, medida por batimetria, é obtida a partir da expressão:

$$\Delta V = V_f - V_i - V_s,$$

$$\Delta V = 2.639.137,12 \text{ m}^3 \text{ de água.}$$

O volume de água acumulado no lago no período (agosto 2001- setembro 2002), é obtido da Tabela 9, subtraindo-se o valor acumulado até setembro ($3.566.640,6 \text{ m}^3$) do valor inicial do período monitorado ($608.918,3 \text{ m}^3$), então:

$$\Delta V = 2.957.772 \text{ m}^3 .$$

Para se comparar o valor obtido pela batimetria ($\Delta V = 2.639.137,12 \text{ m}^3$) com o valor obtido a partir da Tabela 9 ($\Delta V = 2.957.772 \text{ m}^3$), torna-se necessário subtrair a variação de volume do mês de agosto 2002 deste, pois a batimetria foi realizada no início daquele mês. Desta forma tem-se:

$$\Delta V = (2.957.772 - 198.008)$$

$$\Delta V = 2.759.764 \text{ m}^3 .$$

Este valor é 4,6 % maior que o medido na batimetria de agosto de 2002. Esta diferença é perfeitamente aceitável quando se consideram as margens de erro dos levantamentos topográficos e os diferentes métodos de cálculo.

A partir da tabela 1 obtêm-se o gráfico apresentado na Figura 3 onde os maiores valores de escoamento superficial coincidem com o período de maior intensidade de chuvas. No início do período chuvoso, meses de outubro e novembro, grande parte da água é absorvida pela superfície do

terreno e o escoamento superficial não se mostra como um fator importante na disponibilização de água para o enchimento da cava. Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com a saturação do terreno e a maior oferta de água de chuva, o volume do escoamento superficial torna-se um parâmetro relevante nesse enchimento. Com a diminuição das chuvas a partir de março, o escoamento superficial novamente diminui a sua importância.

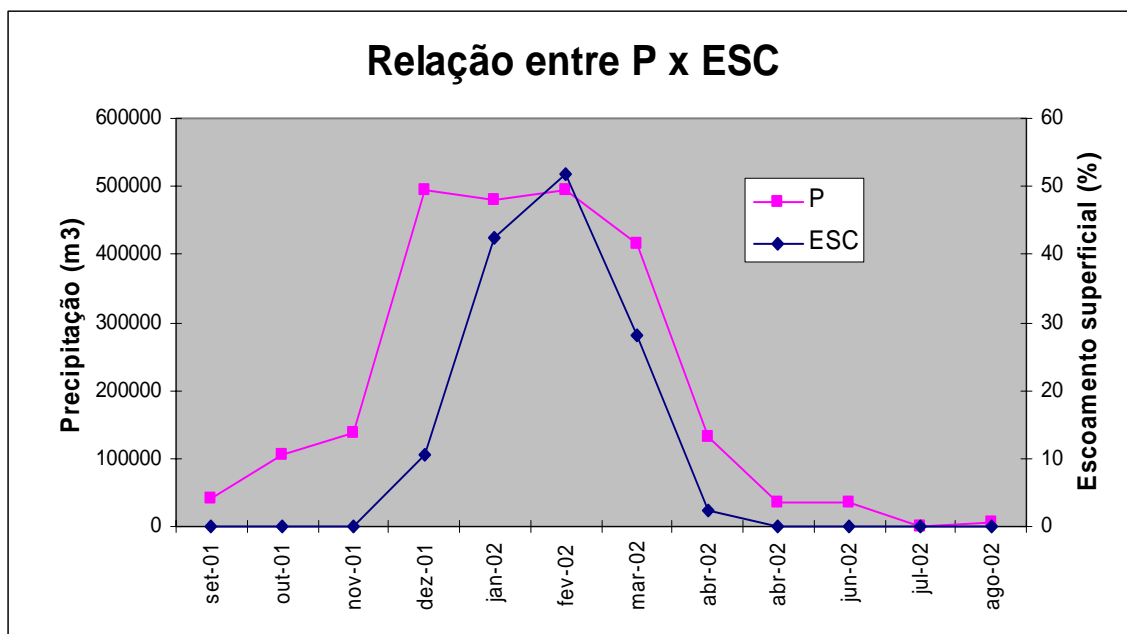


Figura 3 – Relação entre a oferta pluviométrica e o escoamento superficial.

Ao se analisar a Figura 3 verifica-se que o escoamento superficial (ESC) dos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março correspondem a 84% do total da chuva do período. A média ponderada do ESC para estes meses, em relação ao volume mensal de chuva corresponde a 34% da precipitação, e ao se considerar a pluviometria total do período (agosto 2001 a agosto 2002) o valor obtido para ESC foi de 28,7% da precipitação. Desta forma é razoável representar o escoamento superficial através da expressão:

$$ESC = 0,287 P.$$

Simulação do tempo de formação do lago a partir dos dados do balanço hídrico

Do ponto de vista ambiental o tempo necessário para a formação do lago e a recuperação do aquífero é muito importante para servir de parâmetro para análise em outros empreendimentos no futuro. E do ponto de vista econômico é muito importante no planejamento do uso futuro da área bem como dos recursos hídricos.

Para a estimativa do tempo de recuperação do aquífero, em toda sua extensão há necessidade de mais algum tempo de monitoramento.

O tempo de enchimento da cava, foi estimado a partir das seguintes informações obtidas por intermédio do balanço hídrico:

a) a precipitação (**P**) a ser utilizada correspondeu à média obtida no pluviômetro da mina para nos últimos 7 anos, a qual corresponde a **1.556,4 mm** ou 1,5564 m;

b) a evaporação (**EV**) correspondeu à relação obtida no período observado de

$$EV = 0,57 \times P \times \text{Alago}$$

c) o escoamento superficial (**ESC**), sobre a área remanescente, foi obtido pela relação

$$ESC = 0,287 \times P \times \text{Área de drenagem superficial};$$

d) o aporte de água subterrâneo (**AS**) foi considerado constante e igual a **215 m³/h**,

e) a área da superfície do lago tem uma influência direta sobre os parâmetros EV, PD e ESC. A

Figura 4 apresenta o comportamento dos parâmetros ESC, EV e PD em função da evolução da área da superfície do lago. Notar o decréscimo do aporte de ESC e o aumento do aporte da precipitação direta (PD) e da evaporação (EV);

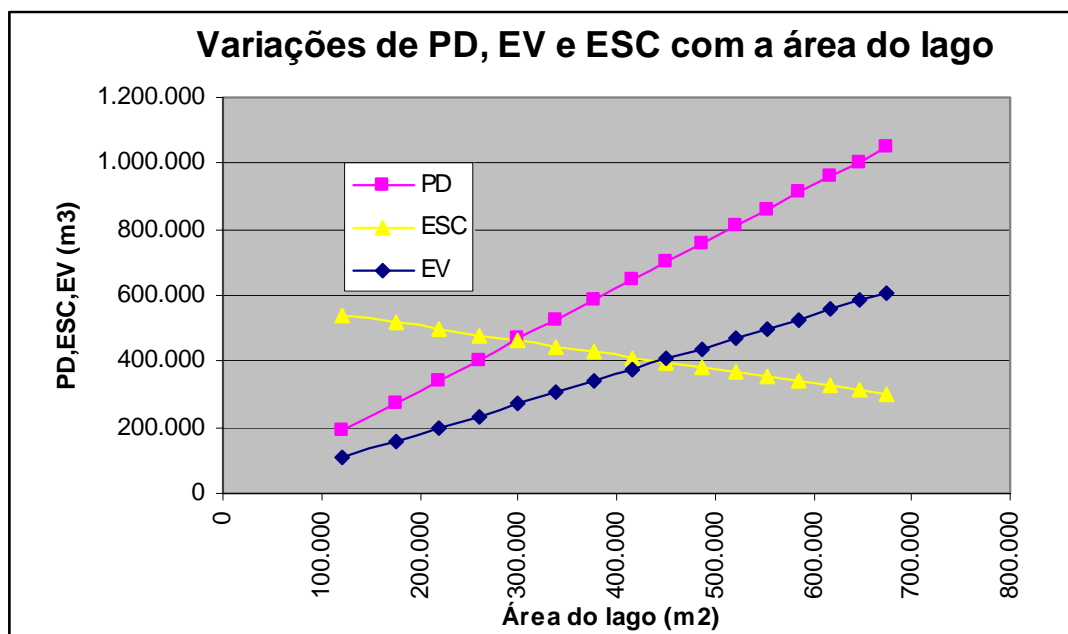


Figura 4 – Evolução de PD, EV e ESC com a área do lago.

f) A Figura 5 apresenta a relação entre o volume acumulado no interior da cava e a área da superfície do lago.

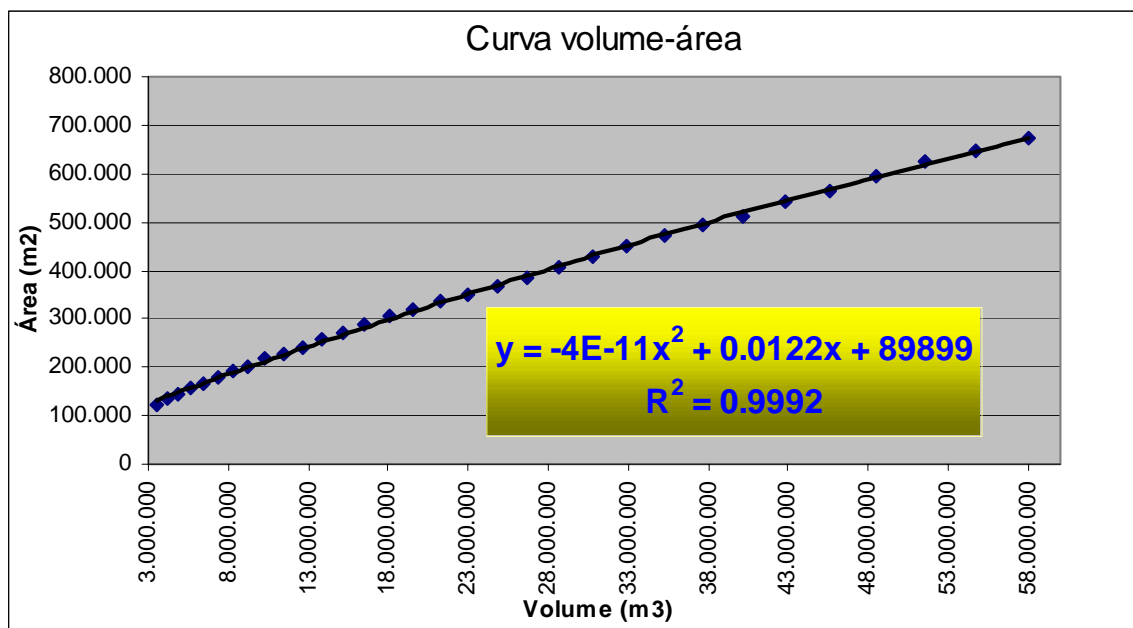


Figura 5 – Curva volume-área do cava da Mina de Águas Claras.

A partir destas premissas partiu-se para a simulação do tempo de enchimento utilizando-se a planilha Excel para este cálculo.

Os dados apresentados na Tabela 2 foram obtidos de acordo com os seguintes critérios metodológicos:

- i) tomou-se como situação inicial o mês de agosto de 2002 pois já eram conhecidos os valores da área do lago (A) e o volume acumulado até então;
- ii) as simulações foram executadas em períodos de doze meses, ou seja de agosto a setembro do ano seguinte;
- iii) a **Área de drenagem superficial = 1.360.000 – Alago**;
- iv) $PD = Alago \times P$; $ESC = 0,287 \times P \times \text{Área de drenagem superficial}$; AS é constante e $EV = 0,57 \times Alago \times P$;
- v) para o aporte externo, no primeiro ano de simulação, considerou-se o volume de água resultante do bombeamento a partir do Ribeirão do Prata com uma vazão de $200 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 16 horas por dia e o bombeamento a partir dos poços na Formação Moeda com uma vazão de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 20 horas por dia. A partir do segundo ano, apenas o aporte do Ribeirão do Prata foi considerado, pois os poços serão desativados;
- vi) a última coluna da tabela corresponde ao incremento anual de água no lago ou a variação de volume que foi obtida por meio da relação $\Delta V = PD + AS + AE + ESC - EV$;

vii) o resultado da variação de volume acima é somado ao volume acumulado do ano anterior e o resultado desta operação utilizado na relação volume – área obtendo-se então, a área do lago ao final do período simulado (Figura 5), estas operações foram executadas até o volume acumulado calculado ser igual à capacidade de acumulação da cava.

A partir dos dados mostrados nas Tabelas 2 pode-se concluir que o tempo necessário para o enchimento do lago a partir do final de 2002, é de 15 anos, ou seja o enchimento estará completo em 2017.

Tabela 2 – Simulação do tempo de enchimento do lago.

Data	Área lago	Volume acumulado	Precipitação Direta	Escoamento Superficial	Aporte Subterrâneo	Aporte Externo	Evaporação	Variação de volume
	(m ²)	(m ³)	PD (m ³)	ESC (m ³)	AS (m ³)	AE (m ³)	EV (m ³)	ΔV (m ³)
30/8/2002	121.795,10	3.368.632,00	189.561,89	539.599,79	1.883.400,00	1.387.000,00	109.945,90	3.889.615,79
30/8/2003	176.342,34	7.258.247,79	274.459,21	515.828,54	1.883.400,00	1.168.000,00	159.186,34	3.682.501,41
30/8/2004	218.588,14	10.940.749,19	340.210,58	497.418,16	1.883.400,00	1.168.000,00	197.322,14	3.691.706,60
30/8/2005	259.850,61	14.632.455,80	404.431,49	479.436,30	1.883.400,00	1.168.000,00	234.570,26	3.700.697,53
30/8/2006	300.119,29	18.333.153,32	467.105,66	461.887,53	1.883.400,00	1.168.000,00	270.921,28	3.709.471,91
30/8/2007	339.383,93	22.042.625,24	528.217,16	444.776,32	1.883.400,00	1.168.000,00	306.365,95	3.718.027,52
30/8/2008	377.634,51	25.760.652,76	587.750,36	428.107,02	1.883.400,00	1.168.000,00	340.895,21	3.726.362,17
30/8/2009	414.861,22	29.487.014,93	645.690,00	411.883,92	1.883.400,00	1.168.000,00	374.500,20	3.734.473,72
30/8/2010	451.054,47	33.221.488,65	702.021,18	396.111,19	1.883.400,00	1.168.000,00	407.172,28	3.742.360,08
30/8/2011	486.204,91	36.963.848,73	756.729,32	380.792,91	1.883.400,00	1.168.000,00	438.903,01	3.750.019,23
30/8/2012	520.303,43	40.713.867,96	809.800,25	365.933,05	1.883.400,00	1.168.000,00	469.684,15	3.757.449,16
30/8/2013	553.341,15	44.471.317,12	861.220,16	351.535,47	1.883.400,00	1.168.000,00	499.507,69	3.764.647,94
30/8/2014	585.309,44	48.235.965,06	910.975,61	337.603,95	1.883.400,00	1.168.000,00	528.365,86	3.771.613,71
30/8/2015	616.199,93	52.007.578,76	959.053,57	324.142,12	1.883.400,00	1.168.000,00	556.251,07	3.778.344,62
30/8/2016	646.004,50	55.785.923,38	1.005.441,40	311.153,53	1.883.400,00	1.168.000,00	583.156,01	3.784.838,92
30/8/2017	674.715,27	59.570.762,30	1.050.126,85	298.641,60	1.883.400,00	1.168.000,00	609.073,57	3.791.094,88

Obs: a capacidade de acumulação do lago é de 58 milhões de m³.

Comparação entre o enchimento simulado e o observado – Conclusões.

A Figura 6 apresenta o gráfico de enchimento do lago na parte superior e a pluviometria do período na parte inferior, onde algumas conclusões podem ser retiradas:

- Não ocorreu em nenhum momento perda de água por infiltração maior que o aporte de água para o lago;
- A taxa de subida do nível de água se mantém no período de seca em função do aporte de água subterrânea;
- No período de chuva, como não deveria ser diferente, a velocidade de enchimento aumenta.

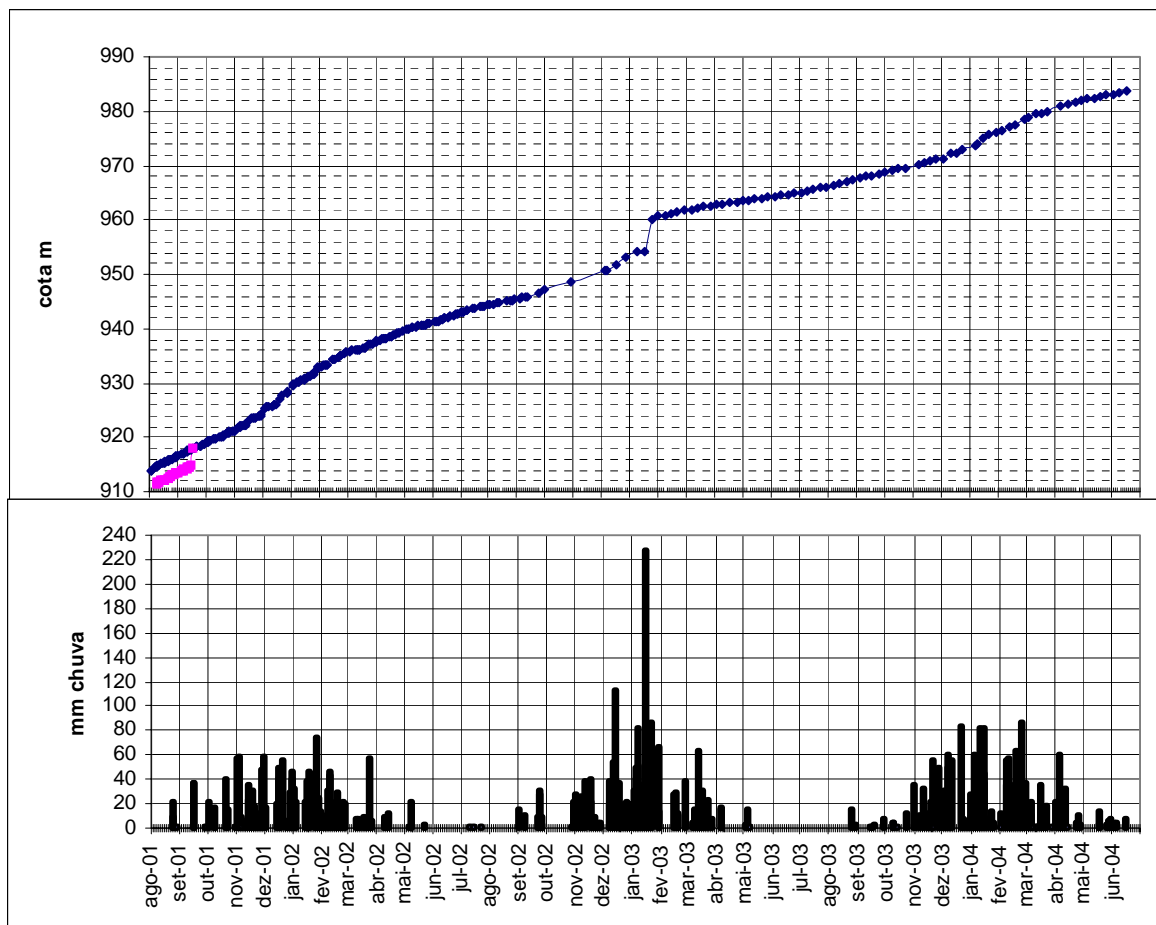


Figura 6 – Acompanhamento do enchimento da cava – Formação do lago.

Em 16 de junho de 2004 mediu-se o nível d'água do lago na cota 983,6 metros o que corresponde a um volume **10 Milhões** de m^3 e uma área de **208343** m^2 , retirados da curva cota x volume x área (Figura 7). Na simulação realizada (Tabela 2) têm-se previsto para o final de agosto de 2004 um volume acumulado de 10,8 milhões de m^3 , uma área de 218000 m^2 , para uma cota de enchimento de 988 metros.

Considerando que nos meses de abril, maio e primeira quinzena de junho a taxa de enchimento média foi de 0,75 metros/mês pode-se dizer que para o final de agosto a expectativa é que a cota do nível de água do lago seja 985,5 metros.

A diferença entre o valor simulado e o observado é de 2,5 metros o que corresponde a um erro de 0,01%.

Desta forma, conclui-se que a metodologia utilizada para a simulação e previsão do tempo de enchimento da cava é adequada. Esta informação é de extrema importância para o planejamento do descomissionamento da área minerada e também para futuros estudos em que outras cavas poderão ser preenchidas pela recuperação do nível de água subterrânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMORIM, L.Q.; GRANDCHAMP, C.A P. & BERTACHINI, A C. 2001. Dewatering of iron ore mines and capability to predict environmental impacts- The experience of MBR. Mine water & environmental. Internacional Congress. INWA. Belo Horizonte. Brasil. 2001.
- [2] AYOADE, J. O. 1998. Introdução à climatologia para os trópicos. Quinta Edição, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil.
- [3] BOUWER, H.1987. Groundwater Recharge. Symposium on Groundwater Recharge. Mandurah. July, 1987. Printed by AA. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1989.
- [4] CHOW, V. T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. 1988. Applied Hydrology. Printed by MacGraw - Hill Book Co. Singapore.
- [5] ENDO, I. 1988. Análise estrutural qualitativa no minério de ferro e encaixantes na Mina de Timbopepa – borda leste do Sinclinal Moeda, Quadrilátero Ferrífero, MG apud ZAVAGLIA, G. 1995. Condicionantes Geológicas do comportamento dos minérios de ferro do depósito de Tamanduá (MG), no processo metalúrgico de redução direta. Mestrado em geologia. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Geologia.
- [6] GRANDCHAMP, C.A.P.; BERTACHINI, A.C.; SPERLING, E. & ALMEIDA, D.C. 2001 – INWA. Águas Claras Mine - A sucessful dewatering story. Mine water & enviromental. International Congress. INWA. Belo Horizonte. Brasil. 2001.
- [7] GANGOPADHYAYA, M., URYVAED, V. A., OMAR, M. H., NORDENSON, T. J., HABECK, G. E. (1969) conforme Tucci et. al. (1993), Measurement and estimation of evapotranspiration, apud TUCCI, C.E.M., I.; Hidrologia, 1993. Editora da Universidade, Porto Alegre, ABRH, EDUSP. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, volume 4.

- [8] LERNER, D.N.; ISSAR, A S.; SIMMERS, I.1990. Groundwater Recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. Printed by R.Van Acken GmbH, JosefstiaBe 35, D- 4450 Lingen (Ems), Germany.
- [9] PENMAN, H. L., 1956. Evaporation: na introductory survey, apud TUCCI, C.E.M., I.; Hidrologia, 1993. Editora da Universidade, Porto Alegre, ABRH, EDUSP. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, volume 4.
- [10] SPERLING, E. 1999. Morfologia de lagos e represas. DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.
- [11] TUCCI, C.E.M., I.; Hidrologia, 1993. Editora da Universidade, Porto Alegre, ABRH, EDUSP. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, volume 4.

Curva Cota x Área-Volume

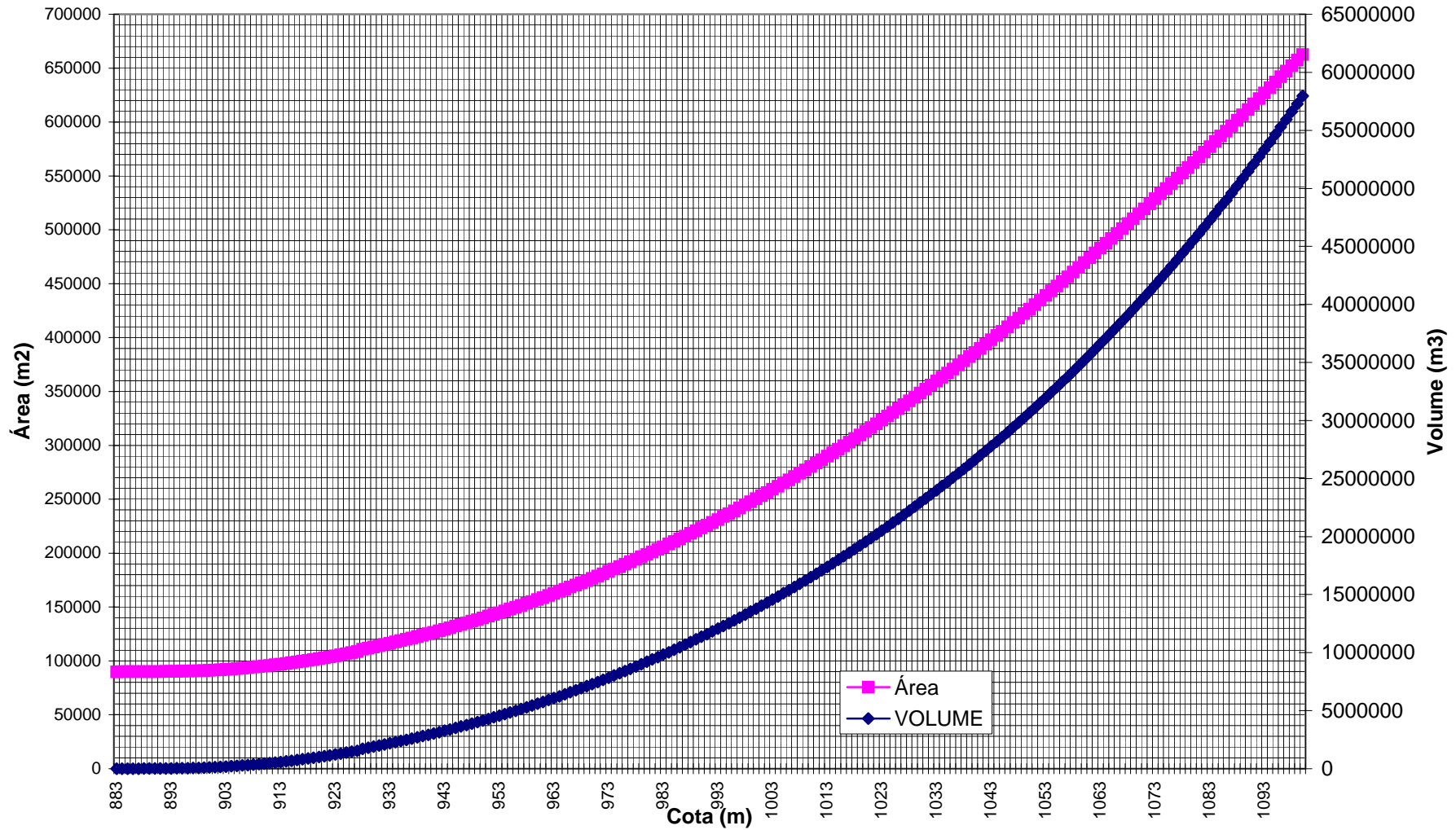


Figura 7 – Curva cota x volume x área