



RELATÓRIO 20241013 – OUT2024
PEDREIRA N.º. 4700 – “SORTE DAS LAGES E SORTE DA PEDREIRA”
FREGUESIA DE GUILHIFE - CONCELHO DE PENAFIEL
DISTRITO DO PORTO
ESTUDO HIDROLÓGICO E BALANÇO HÍDRICO

EDILAGES

ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO, SA

ESTUDO HIDROLÓGICO E BALANÇO HÍDRICO

PROJETO DE AMPLIAÇÃO DA PEDREIRA N.º. 4700 – “SORTE DAS LAGES E SORTE DA PEDREIRA”
FREGUESIA DE GUILHIFE - CONCELHO DE PENAFIEL
DISTRITO DO PORTO

RELATÓRIO 20241013 – OUTUBRO2024

Índice Geral

1. INTRODUÇÃO/ENQUADRAMENTO	3
2. ESTUDO HIDROLÓGICO	3
2.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica	3
2.2 Aplicação do Método Racional	4
2.3 Caracterização da bacia de retenção/Poço de Fundo de Pedreira	10
2.4 Balanço Hídrico	11
3. MEDIDAS A IMPLEMENTAR	14
3.1. Medidas de implementação imediata	14
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	15
FIGURA 1 –ÁREA DE ESTUDO DA PEDREIRA Nº 4700 DENOMINADA “SORTE DAS LAGES E SORTE DA PEDREIRA”	4
FIGURA 2 - REGIÕES PLUVIOMÉTRICAS E PARÂMETROS A E B DAS CURVAS IDF (MATOS, 1987).	6
FIGURA 3 – ÁREA A LICENCIAR (VERMELHO) E LOCALIZAÇÃO DA BACIA DE RETENÇÃO (AZUL - POÇO DE FUNDO DE PEDREIRA).	11
FIGURA 4 – GRÁFICO DE VOLUMES ACUMULADOS E CONSUMOS E REGISTADOS EM UM ANO CIVIL	14
TABELA 1 – COEFICIENTE “C” EM FUNÇÃO DA TIPOLOGIA DE SUPERFÍCIE (ADAPTADO DE CONCRETE PIPE HANDBOOK 1958).....	7
TABELA 2 - VALORES MÉDIOS DO COEFICIENTE “C” PARA UTILIZAÇÃO NA FÓRMULA RACIONAL (MANUAL Nº 37, ASCE).	7
TABELA 3 - CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NO POÇO DE FUNDO DA PEDREIRA.	9
TABELA 4 - PERÍODOS DE RETORNO PARA 2, 10, 50 E 100 ANOS PARA A ÁREA DE EXPLORAÇÃO DA PEDREIRA COM COEF. ESCOAMENTO 0,3.....	10
TABELA 5 - PERÍODOS DE RETORNO PARA 2, 10, 50 E 100 ANOS PARA A ÁREA DE EXPLORAÇÃO DA PEDREIRA.	10
TABELA 6 - DIMENSIONAMENTO DA BACIA PRESENTES NA ÁREA EM ESTUDO.	11
TABELA 7 - REGISTOS DE PRECIPITAÇÃO, CONSUMO E VARIAÇÃO DE VOLUME NA BACIA DO POÇO DE FUNDO DE PEDREIRA.	13

1. INTRODUÇÃO/ENQUADRAMENTO

O presente Estudo Hidrológico tem por objetivo:

- (i) contribuir para clarificar que em relação as águas pluviais afluentes à lagoa (fundo da pedreira) e as águas utilizadas na exploração, atendendo aos períodos de pluviosidade e de estiagem com o decurso do tempo, e que já existirão águas depositadas na bacia, esta terá capacidade para suportar volumes sem que seja necessário efetuar rejeição no meio natural na envolvente da pedreira n.º 4700 denominada “Sorte das Lages e Sorte da Pedreira”, localizada na Freguesia de Guilhufe, Concelho de Penafiel;
- (ii) justificar, em alternativa, indicação do ponto de rejeição das águas pluviais acumuladas no perímetro da pedreira, uma vez que em períodos de forte pluviosidade poderá não ser possível a retenção da totalidade dessas águas, com identificação dos eventuais impactes.

2. ESTUDO HIDROLÓGICO

2.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica

Como a bacia que drena no interior da pedreira, desde o seu ponto mais elevado (240 m NPG) e ponto mais baixo no poço de fundo da pedreira (156 m NPG), vamos considerar uma bacia de pequena dimensão, com uma rede de drenagem, que recolhe as águas pluviais de toda a área de exploração (com 127.544 m² – cor vermelha), que se apresenta na figura 1.

Não se considera a área licenciada, pois existe um canal periférico que recolhe as águas pluviais antes de estas entrarem na zona de exploração e as liberta para as redes hídricas mais próximas.

Esta bacia pode ser caracterizada pelos seguintes parâmetros hidráulicos:

- (i) a área da bacia: 12,75 ha, ou seja cerca de 127.544 m²;
- (ii) o ponto de cota mais alta da bacia (zona mais elevada da pedreira): 240 m;
- (iii) a cota na bacia de retenção: 156 m;
- (iv) declive médio: 28,0 %.

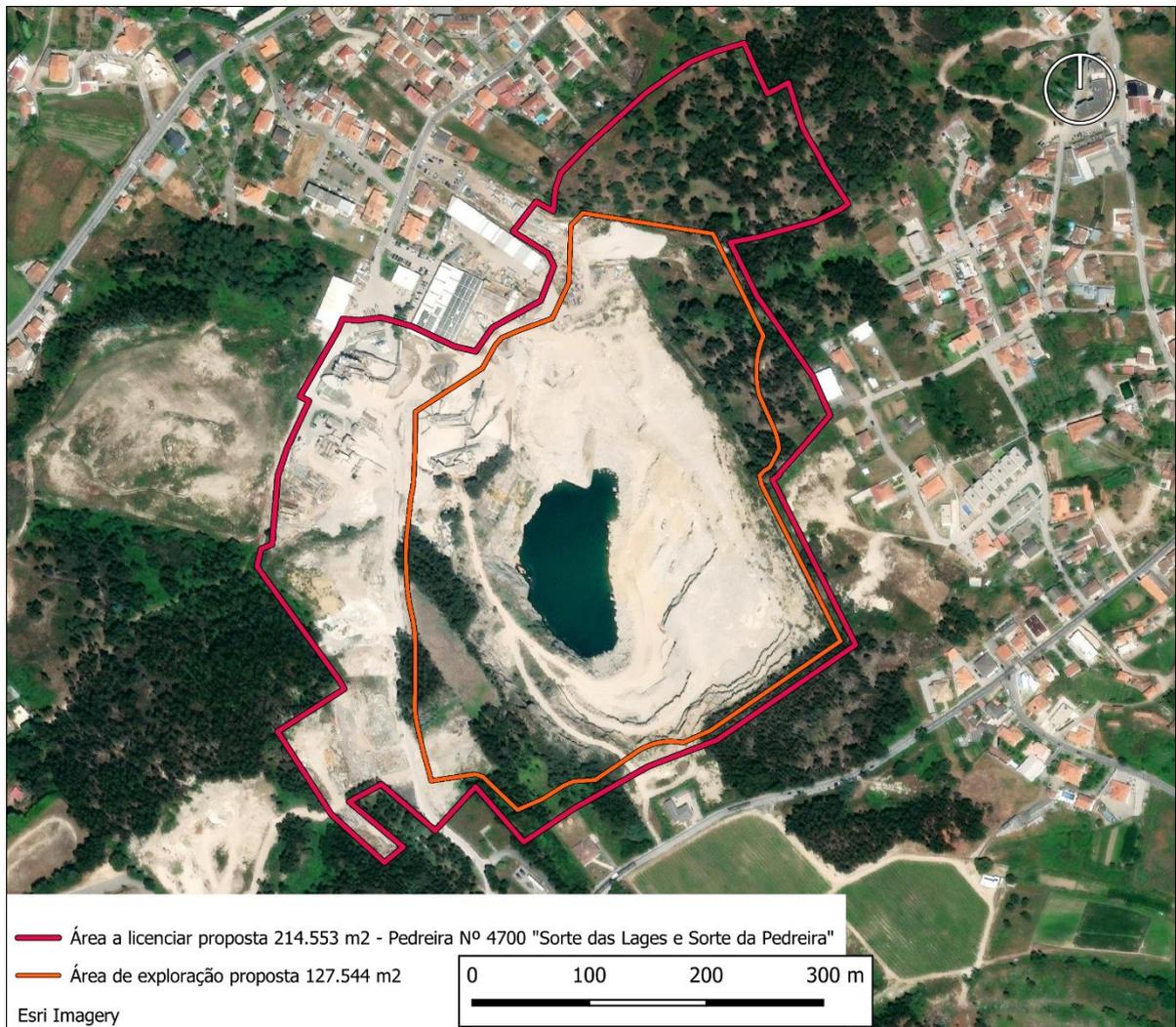


Figura 1 –Área de estudo da pedreira nº 4700 denominada “Sorte das Lages e Sorte da Pedreira”.

2.2 Aplicação do Método Racional

O caudal de ponta foi estimado recorrendo ao Método Racional, aplicável à obtenção de caudais de ponta de cheia em pequenas e médias bacias hidrográficas, associados a precipitações excecionais com intensidade sensivelmente uniforme, com durações iguais aos tempos de concentração daquelas bacias e períodos de retorno fixados em conformidade com o objetivo a que se destina a análise de cheias.

O método racional, pode ser expresso pela seguinte equação:

$$Q_p = \frac{C \times I \times A}{360} \quad [1]$$

Sendo:

- Qp - Caudal de ponta (m³/s);
- C - Coeficiente de escoamento;
- I - Intensidades de precipitação (mm/h);
- A - Área da bacia de drenagem (há).

Em que:

$$I = a \times t_c^b \quad [2]$$

Sendo:

- t_c - Tempo de concentração (min);
- a e b - Obtidos a partir das curvas idf.

O valor para o tempo de concentração (t_c) será obtido por via analítica, pelas expressões propostas por Temez [3], Ventura [4], Picking [5] ou Kirpich [6], enquanto que os valores de **a** e **b** podem ser obtidos diretamente a partir de expressões analíticas ou de gráficos das curvas de intensidade-duração-frequência (curvas IDF) aplicáveis a Portugal Continental e que figuram no “Projeto de Regulamento Nacional de Drenagem de Águas Residuais” (ver ilustração 2).

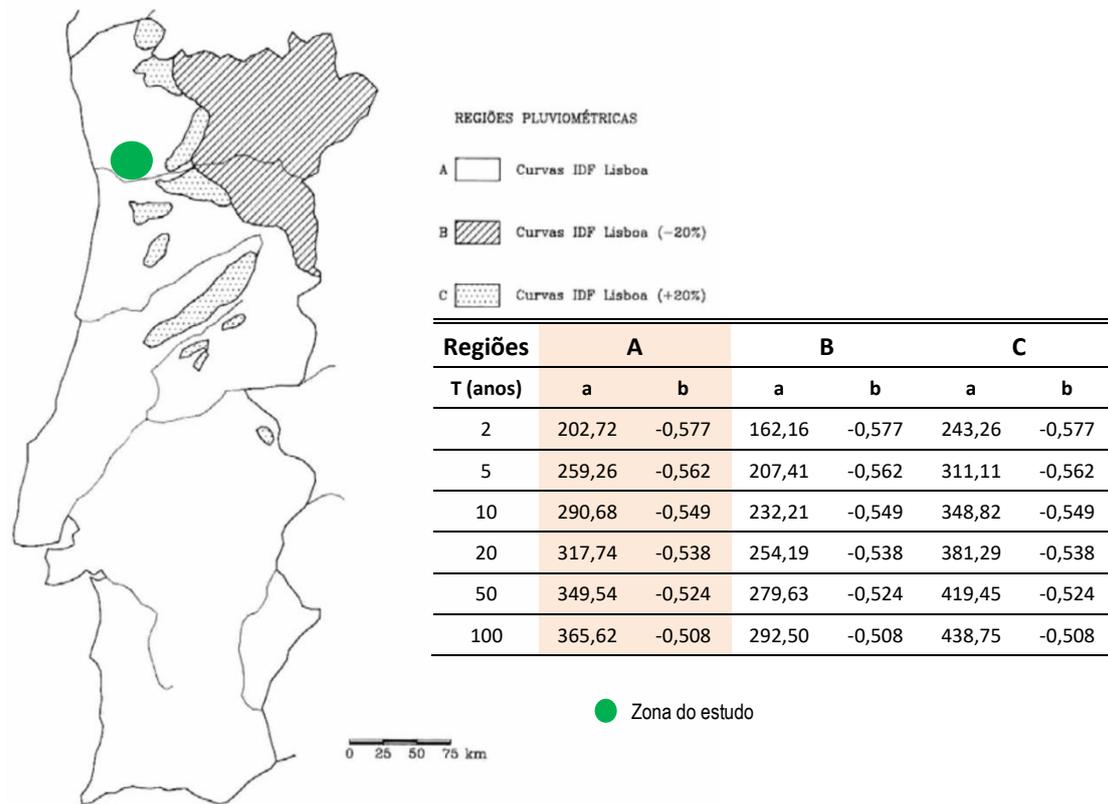


Figura 2 - Regiões pluviométricas e parâmetros a e b das curvas IDF (Matos, 1987).

Coefficiente de escoamento

Na expressão [1] o coeficiente C engloba vários fatores:

- (i) relação entre o volume de água escoada e a precipitação;
- (ii) efeitos de retenção no solo;
- (iii) efeitos de regolfo e atraso do escoamento superficial no terreno, coletores no interior da exploração.

Que dependem:

- (iv) das características físicas e da ocupação da bacia;
- (v) do estado de humidade do solo;
- (vi) da duração e distribuição da precipitação antecedente.

Os valores médios do coeficiente C estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, consoante o tipo de superfície e de ocupação.

Tabela 1 – Coeficiente “C” em função da tipologia de superfície (adaptado de Concrete Pipe Handbook 1958).

Tipo de Superfície	Coeficiente
Valores a utilizar na drenagem de aeroportos.	0,75 - 0,95
Coberturas impermeabilizadas de edificações.	0,75 - 0,95
Pavimento asfáltico.	0,80 - 0,95
Pavimento em betão.	0,70 - 0,90
Pavimento em gravilha de macadame.	0,35 - 0,75
Solo impermeável.	0,40 - 0,60
Solo impermeável, relvado.	0,30 - 0,55
Solo pouco permeável.	0,15 - 0,40
Solo pouco permeável, relvado.	0,10 - 0,30
Solo moderadamente permeável.	0,05 - 0,20
Solo moderadamente permeável, relvado.	0,00 - 0,10
Valores a utilizar na drenagem de áreas urbanas.	0,70 - 0,90
Coberturas impermeabilizadas de edificações, pavimentos impermeáveis.	0,70 - 0,90
Pavimentos de calçada.	0,50 - 0,70
Pavimentos de macadame.	0,25 - 0,60
Pavimentos de gravilha.	0,15 - 0,30
Parques.	0,05 - 0,30

Tabela 2 - Valores médios do coeficiente “C” para utilização na fórmula racional (Manual nº 37, ASCE).

Tipologia de ocupação	Coeficiente
Comercial	
no centro da cidade	0,70 - 0,95
nos arredores	0,50 - 0,75
Residencial	
habitações unifamiliares	0,30 - 0,50
prédios isolados	0,40 - 0,60
prédios geminados	0,60 - 0,70
suburbano	0,25 - 0,40
Parques e cemitérios	0,10 - 0,25
Campos de jogos	0,20 - 0,40
Pavimento	
asfáltico	0,70 - 0,95
betão	0,80 - 0,95
Passeios para peões	0,85
Coberturas (telhados)	0,75 - 0,95
Relvado sobre solo permeável	
Plano < 2%	0,05 - 0,10
Médio 2% a 7%	0,10 - 0,15
Inclinado >7%	0,15 - 0,20
Relvado sobre solo impermeável	
Plano < 2%	0,03 - 0,17
Médio 2% a 7%	0,18 - 0,22
Inclinado >7%	0,25 - 0,35

Tempo de concentração

O tempo de concentração, t_c , de uma bacia hidrográfica, numa dada secção de um curso de água, é o tempo para que a totalidade da bacia contribua para o escoamento superficial na secção considerada.

Pode também ser definido como o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia atinja a secção considerada.

Segundo **Lencastre e Franco (1992)**, o tempo de concentração é considerado uma característica constante da bacia, sendo independente das características das chuvadas. O tempo de concentração é aplicado na determinação do caudal de ponta de cheia quando se utilizam expressões cinemáticas, que entram em linha de conta com as características do movimento da água na bacia hidrográfica.

Para calcular o tempo de concentração, em minutos, recorreu-se às expressões propostas por Temez [3], por Ventura [4], Picking [5] ou Kirpich [6], frequentemente utilizadas nos projetos de drenagem.

I. Temez (1978)

$$t_c = 0,3 \times \left(\frac{L_b}{i_m^{0,25}} \right)^{0,76} \quad [3]$$

Sendo:

- t_c - Tempo de concentração (h);
- i_m - Declive médio (m/m);
- L_b - Comprimento da bacia (Km);

II. Ventura

$$t_c = 240 \times \left(\frac{A_b \times L_b}{\Delta_h} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [4]$$

Sendo:

- t_c - Tempo de concentração (min), com $t_c \geq 5$ min;
- A_b - Área da Bacia (km²);
- Δ_h - Diferença de cota entre as extremidades da bacia (m);
- L_b - Comprimento da bacia (km).

III. Picking

$$t_c = 5,3 \times \left[\frac{L^2}{i} \right]^{0,333} \quad [5]$$

Sendo:

- t_c - Tempo de concentração (min);
- i - Declive médio (m/m);
- L - Comprimento da bacia (km).

IV. Kirpich

$$t_c = 0,39 \times \left[\frac{L^2}{i} \right]^{0,385} \quad [6]$$

Sendo:

- t_c - Tempo de concentração (min);
- i - Declive (em %);
- L - Comprimento da bacia (km).

Pela aplicação destas expressões numéricas foram obtidos os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo do tempo de concentração no poço de fundo da pedreira.

Bacia	Método	Temez	Ventura	Picking	Kirpich	Valor adotado (*)
Pedreira	t_c (min)	9,18	5,12	3,63	2,57	7,15

(*) Valor adotado resulta da média aritmética com exclusão dos dois valores mais baixos.

Com o tempo de concentração temos toda a informação para a aplicação da expressão utilizada no método racional [1]. Os valores obtidos, utilizando períodos de retorno de 2, 10, 50 e 100 anos na bacias de retenção são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Períodos de retorno para 2, 10, 50 e 100 anos para a área de exploração da pedreira com coef. escoamento 0,3.

Bacia	t _c (min)	I (mm/h)				C	Q _p (m ³ /s)			
		2 anos	10 anos	50 anos	100 anos		2 anos	10 anos	50 anos	100 anos
Área de Exploração	7,15	65,147	98,704	124,674	134,580	0,3	0,692	1,049	1,325	1,430

Se considerar o acumulado para caudais de ponta durante os 1 minuto de precipitação obtemos os valores referidos na tabela 5.

Tabela 5 - Períodos de retorno para 2, 10, 50 e 100 anos para a área de exploração da pedreira.

Bacia	Q _p (m ³ /min)			
	2 anos	10 anos	50 anos	100 anos
Área de Exploração	41,545	62,945	79,507	85,824

2.3 Caracterização da bacia de retenção/Poço de Fundo de Pedreira

Foi implementada uma rede de drenagem periférica, colocado ao longo dos limites da área a licenciar, em todas as cotas mais elevadas, de modo a reduzir a entrada de águas pluviais na área da pedreira, e essencialmente na área de exploração, e de forma a seguirem o seu curso normal, para as linhas de água, sem qualquer contato com possível contaminação e sem entrarem na zona de exploração da pedreira.

Desta forma com esta rede de drenagem periférica, a área em estudo contemplará apenas as águas pluviais que precipitam diretamente sobre a área de exploração.

Assim quando as águas pluviais, atravessam as zonas de área da pedreira, podendo arrastar materiais aí depositados e incorporando os finos na sua corrente, estas são encaminhadas para a bacia do fundo da pedreira.

Toda esta água acumulada ao longo do ano será reutilizada nas diversas atividades da empresa, desde a utilização na instalação de quebra de pedra, despoeiramento nas telas transportadoras e pilhas de material e na rega das zonas de circulação da pedreira.

De modo a aferir os volumes que o poço de fundo da pedreira comporta relativamente às águas de escorrência, é apresentado o dimensionamento destas na área em estudo, onde para além da utilização mencionada no paragrafo anterior, foi considerada uma infiltração de 17%.

Tabela 6 - Dimensionamento da bacia presentes na área em estudo.

Designação	Área (m ²)	Profundidade (m)	Volume (m ³)
Poço da Pedreira	5.558,30	10,00	55.583,0
TOTAL			55 583,0

Na figura seguinte é possível observar o poço de fundo da pedreira atualmente.



Figura 3 – Área a licenciar (vermelho) e localização da bacia de retenção (azul - poço de fundo de pedreira).

2.4 Balanço Hídrico

Com o intuito de avaliar os caudais a reter e reutilizar ao longo do ano, e tendo em consideração a capacidade da bacia de retenção (poço de fundo de pedreira), que acomoda a totalidade da precipitação que ocorra na área da pedreira, fez-se a avaliação da precipitação na região com base nos dados climatológicos de precipitação para a área de estudo Tâmega e Sousa, no período de 1971 a 2000 (Fonte Portal do Clima).

No caso de haver um evento extremo de precipitação, ou seja, períodos com precipitação muito acentuada, estes poderão originar, se a morfologia da área assim o permitir, a inundação de áreas mais ou menos extensas, ou mesmo arrastamento de uma quantidade elevada de sólidos em suspensão. Pela análise dos dados climatológicos, foi possível verificar que o máximo de precipitação, pico, correspondendo a 182,3 mm. Tendo em conta a área total da área de exploração de cerca de 12,75 ha, um evento de precipitação extrema com aquela magnitude, corresponderia a um volume total de água de 18.601 m³, valor muito inferior ao volume total de água que pode ser acomodado na bacia existente com capacidade para cerca de 55.583 m³, mesmo considerando que nem toda a água, com origem na precipitação, teria que chegar até à bacia referida, pois foi considerada uma infiltração de 17% e eventualmente parte ficaria retida nas bancadas da pedreira.

Deverá ser tido em conta que estas ocorrências de precipitação extrema, são pontuais e muito espaçadas no tempo, o que nos remete para a necessidade de calcular a sua probabilidade de ocorrência.

$$p = i / (n+1)$$

Em que: p – probabilidade de ocorrência;

i – número de ordem em que se encontra o valor em análise, do maior para o menor;

n – nº de dados em análise (dias).

Assim, teremos:

$$p = 1 / (10950+1)$$

$$p = 0,0091\%$$

Para um evento extremo de precipitação com um valor de 182,3 mm, a probabilidade de ocorrência assume o valor 0,0091%. Para este cálculo, usou-se uma série de dados de 30 anos (10950 dias), valor este que corresponderá ao período de retorno de um evento com as mesmas características. Pelo exposto, podemos considerar que a probabilidade de ocorrência de uma precipitação de 182,3 mm num só dia, sendo possível, é extremamente baixa.

Além da análise diária podemos, também, fazer uma análise mensal. Assim, pela análise dos dados da tabela 7, é possível verificar que o mês mais chuvoso é dezembro, apresentando um valor médio de precipitação de 182,3 mm. Tendo por base este valor, considerando que o mesmo pode ser distribuído regularmente pelos diferentes dias do mês, tal resultará num valor de precipitação diária da ordem de 5,88 mm, o que, para a área total de estudo, resulta num valor de 600,0 m³, valor muito abaixo da capacidade efetiva da bacia existente.

Se considerar a precipitação mensal na área de projeto com uma infiltração de 17% e um consumo real anual de água em cerca de 95.658 m³, com as perdas do sistema de despoejamento e rega dos caminhos (12 m³/h) e perdas na lavagem de britas (14 m³/h) e areias (17 m³/h), sem considerar a evaporação, obtemos o balanço da tabela 7:

Precipitação média mensal - (IPMA, 1971-2000)					
mês	Precipitação mm	Prec. Área m3	Infiltração 17%	Bacia 15000	Consumo m3
Janeiro	154,4	15 754	13 076	21 104	6 972
Fevereiro	136,4	13 918	11 552	25 416	7 240
Março	116,3	11 867	9 849	26 479	8 786
Abril	127,4	12 999	10 789	29 630	7 638
Mai	76,4	7 795	6 470	26 597	9 504
Junho	36,2	3 694	3 066	21 022	8 640
Julho	6,9	704	584	12 535	9 072
Agosto	7,8	796	661	6 865	6 330
Setembro	30,1	3 071	2 549	130	9 284
Outubro	104,5	10 663	8 850	1 340	7 640
Novembro	150,1	15 315	12 712	6 240	7 812
Dezembro	182,3	18 601	15 439	14 939	6 740
Total	1128,8	115 177	95 597		95 658

Capacidade da bacia = 55583 m³

Área de estudo = 127544,0 m²

Tabela 7 - Registos de precipitação, consumo e variação de volume na bacia do poço de fundo de pedra.

Deverá ser tido em conta que ao longo de um mês, mesmo que este seja o mais chuvoso, no caso em concreto de dezembro com 182,3 mm (valor médio), a precipitação tende a ocorrer em distintos períodos, intercalados com intervalos sem chuva o que permite que uma pequena parte da água se possa infiltrar, nomeadamente nas zonas com mais vegetação e fracturação que não estão ocupadas pela exploração propriamente dita.

Poderia ainda ser considerado que nem todo o volume de água resultante da precipitação drene superficialmente em direção à lagoa momentaneamente, podendo ficar retido, por exemplo, em cavidades da exploração que apresentem algum rebaixo e inclinação desfavorável à circulação da água e aí se dê alguma infiltração.

Quanto à questão, que se colocou e se refere ao destino a dar às águas que se acumulam na bacia. Obviamente que durante o Verão, esta é totalmente consumida na unidade de britagem, para regar caminhos e no sistema de despoejamento, sendo mesmo necessário recorrer a outra fonte para poder laborar. Desta forma temos a bacia com níveis mínimos ou até mesmo secas no final do verão e outono.

Aqui neste documento calculamos o balanço hídrico, com a verificação de uma tendência a reduzir os volumes retidos na bacia ao longo dos anos. De forma a contrariar esta situação, prevê-se a utilização de uma captação subterrânea sempre que seja necessário.

Tendo em consideração que os períodos de precipitação mais gravosos, são entre outubro a abril, e baseando-nos na capacidade de retenção da bacia instalada, obtemos o seguinte gráfico de volumes acumulados e consumidos durante um ano civil.

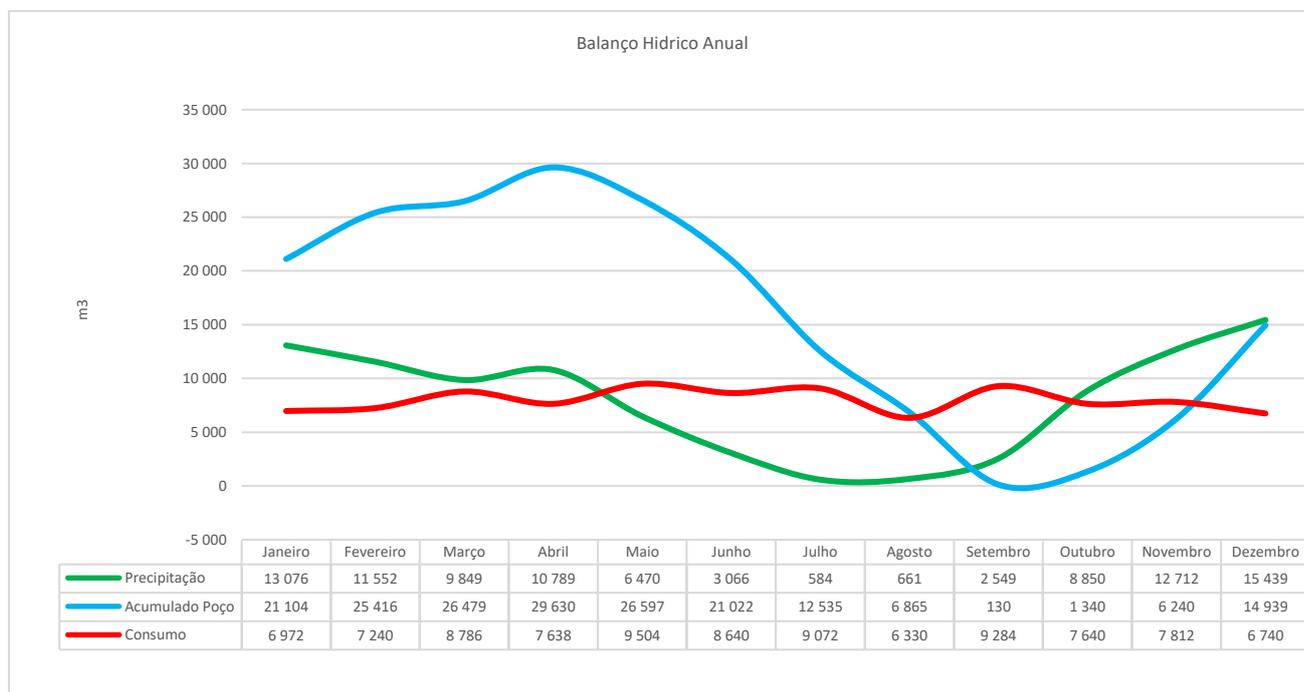


Figura 4 – Gráfico de volumes acumulados e consumos e registados em um ano civil

3. MEDIDAS A IMPLEMENTAR

Em face do problema identificado, foram definidas um conjunto de medidas que poderão ser implementadas e, desta forma, corrigir o(s) problema(s) identificado(s).

As medidas a implementar podem ser divididas em dois grupos, em função do prazo da sua implementação: medidas de implementação imediata ou de curto prazo e medidas de implementação a médio prazo.

3.1. Medidas de implementação imediata

As medidas de implementação imediata são as que devem ser desenvolvidas no mais curto espaço de tempo (algumas, na totalidade ou parcialmente, já se encontram implementadas ou em desenvolvimento), destinando-se principalmente a controlar as emissões de águas residuais industriais. Assim, temos:

a) Rede de drenagem periférica

Está implementado um sistema de drenagem periférica, colocado ao longo do limite da área a licenciar, no sentido das suas cotas mais elevadas para as mais baixas, de modo a reduzir a entrada de águas pluviais na área da pedreira, de forma a seguirem o seu curso normal, para a linha de água, sem qualquer contato com possível contaminação.

Com esta rede de drenagem periférica, a área em estudo terá de lidar, “apenas”, com as águas pluviais que precipitam diretamente sobre a área de exploração.

b) Sistema de decantação de águas residuais industriais

Considera-se como águas residuais industriais, as que são originadas na unidade de quebra e seleção de inertes, onde existe um sistema de tratamento em circuito fechado e que utiliza as águas do poço de fundo de pedra para repor níveis de forma ao bom funcionamento da instalação.

c) De salientar que a bacia de decantação do fundo da pedra poderá ir sendo adaptada às necessidades da exploração, quer pela geometria, quer pelo volume que acomoda.

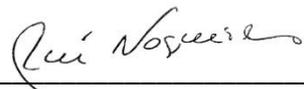
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em face do exposto, como considerações finais, deve ser registado o seguinte:

Tendo em consideração a infiltração nas camadas superiores do maciço rochoso, os consumos de água acumulada para as diferentes utilizações nesta área industrial e dada a suficiente capacidade da bacia de retenção do poço de fundo de pedra (com capacidade para aumentar se verificar necessário), no balanço hídrico concluímos que não será necessário rejeitar água para o meio natural durante o período de atividade da pedra, garantindo assim uma necessária reutilização nos processos produtivos, sem incremento do volume acumulado ao longo dos anos.

Se considerarmos as atuais condições climatológicas, a tendência dos volumes de pluviosidade, tendem a diminuir, e o volume retido na bacia de retenção também, pelo que a armazenagem de água durante a estação seca é cada vez mais necessária para os mais diversos processos produtivos, e sendo insuficiente à laboração, deverá recorrer-se à captação de água subterrânea.

Porto, 13 de outubro de 2024



(Rui Nogueiro, Eng.º de Minas)